



Contribution des systèmes de polyculture-élevage à la transition agroécologique : approche par modélisation des coopérations entre exploitations en région Bourgogne-Franche-Comté et Rhône-Alpes

Eglantine Thiery

► To cite this version:

Eglantine Thiery. Contribution des systèmes de polyculture-élevage à la transition agroécologique : approche par modélisation des coopérations entre exploitations en région Bourgogne-Franche-Comté et Rhône-Alpes. Agronomie. Université Clermont Auvergne, 2019. Français. NNT : 2019CLFAC077 . tel-02611732v1

HAL Id: tel-02611732

<https://theses.hal.science/tel-02611732v1>

Submitted on 18 May 2020 (v1), last revised 9 Jun 2020 (v2)

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

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

Année 2019

Ecole doctorale Sciences de la Vie, Santé, Agronomie et Environnement

THESE

Présentée à l'Université Clermont-Auvergne

Docteur d'Université

(Spécialité : Agronomie et Environnement)

Eglantine Thiery

Contribution des systèmes de polyculture-élevage à la transition agroécologique

Approche par modélisation des coopérations entre exploitations
en régions Bourgogne-Franche-Comté et Rhône-Alpes

Jury

Laurent Rieutort
Jean-Marc Meynard
Aude Ridier
Catherine Disenhaus
Claire Aubron
Gilles Brunschwig
Claire Mosnier
Patrick Veysset

Professeur UCA
Directeur de recherches INRA
Maître de conférences AgroCampus-Ouest
Professeur AgroCampus-Ouest
Maître de conférences Montpellier SupAgro
Professeur VetAgro Sup
Chargée de recherches INRA
Ingénieur de recherches INRA

Président du jury
Rapporteur
Rapporteur
Rapporteur
Examinatrice
Directeur de thèse
Encadrante de thèse
Encadrant de thèse

Date de soutenance : le 18 novembre 2019



Cette thèse a été réalisée dans le cadre du projet POEETE.

Le projet POEETE s'inscrit dans le cadre du programme PSDR4 et bénéficie à ce titre des financements de l'INRA, IRSTEA, du Conseil Régional Bourgogne Franche Comté, du Conseil Régional Rhône Alpes et de l'Union Européenne.

région **BOURGOGNE
FRANCHE-COMTÉ**



AUVERGNE – Rhône-Alpes



Remerciements

Je remercie l'ensemble des membres du jury d'avoir accepté de s'investir dans l'évaluation de ce travail de thèse : Aude Ridier, Catherine Disenhaus et Jean-Marc Meynard en tant que rapporteurs, ainsi que Claire Aubron, Claire Mosnier, Laurent Rieutort, Patrick Veyssset et Gilles Brunschwig en tant qu'examineurs.

Un grand merci à mes encadrants de thèse Claire Mosnier, Gilles Brunschwig et Patrick Veyssset pour leurs apports techniques, scientifiques, leur bonne humeur et leur humanité sans lesquels je n'aurais jamais pu réaliser ce travail. Je n'oublierai jamais leur attention et leur bienveillance lors de nos réunions animées et dans la vie de tous les jours. Merci d'avoir pris le temps de répondre à mes doutes, nombreux à certaines périodes de la thèse. Votre soutien sans faille m'a permis de poursuivre un rêve que je pensais inatteignable.

Je tiens également à remercier les membres de mon comité de pilotage Jean-Philippe Choisis, Daniel Roybin, Marc Moraine, Audrey Michaud et Pascal Pierret pour leur bienveillance, leurs réflexions et les nombreux apports qu'ils ont pu apporter à ce travail.

Je remercie Hédi Ben Chedly pour avoir cru en moi, au moins au début, et pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser cette thèse. Même si notre collaboration ne s'est pas terminée dans les meilleures conditions, merci de m'avoir appris à faire preuve d'adaptabilité et à me remettre en question.

Merci à Denis Chapuis et Jean-Philippe Goron, référents acteurs du projet POEETE, pour leur aide précieuse tout au long de ces trois années. Je tiens également à remercier Christine Bouilly, Antoine Villard, Joris Deville, Denis Chapuis, Laurent Solas, Jean-Philippe Goron, Jean-Pierre Manteau, Marianne Phillit et Tanguy Morel pour leurs réflexions et leur partage d'expériences lors de nos groupes de travail. Je remercie les agriculteurs ainsi que les employés de la coopérative Dauphinoise qui ont bien voulu répondre à mes questions.

Je remercie les enseignants-chercheurs et employés d'AgroSup Dijon, pour leur accueil et leur sympathie au quotidien. Merci à Sylvie G., Marine, Chantal, Alexandra, Marie-Françoise et toute la Combes Berthaux pour les moments de convivialité que nous avons pu passer ensemble, qui font qu'on est heureux d'aller bosser tous les matins. Merci à Wilfried pour tous ces conseils et les longues discussions que l'on a pu avoir à la sortie du bureau. Merci à Christelle pour m'avoir fait confiance et m'avoir ouvert une porte vers l'enseignement. Ses conseils et son soutien m'ont poussé à continuer de rêver la suite de ma carrière. Merci à toi, Emmanuelle qui n'aura fait qu'un court passage avant de partir pour l'aventure en Nouvelle-Zélande avec qui j'ai pu avoir des discussions très intéressantes sur la thèse. Merci pour toutes tes astuces biblio. J'ai également une pensée pour les filles de Lab to Field, Agathe et Pauline, et pour notre club de cani-cross sans chien pour certaines ainsi que les nombreux moments que nous avons pu partager. Merci à Amélie pour m'avoir appris à me poser beaucoup de questions, même trop parfois, mais peut-on vraiment se poser trop de questions, là est la question. « Et sinon, t'es déjà allée dans un resto tibétain ? »

Un grand merci à l'équipe COMETE, les titulaires, tous les thésards et non titulaires. Merci à toi, Louise, collègue de bureau et copine de galère pour les nombreux échanges scientifiques et personnels que nous avons pu avoir au cours de ces trois années. Merci pour ton accueil généreux pour mes passages à Clermont-Ferrand. Cette expérience, nous l'avons vécue ensemble chacune à notre manière et même si tout n'a pas été tous les jours facile, je garderai un souvenir heureux de cette partie de notre vie que l'on a pu partager.

Je remercie les enseignants-chercheurs et employés de VetAgroSup pour leur accueil et leur aide précieuse lors de mes passages.

Merci à Marie, Maëva pour leur amitié sans failles, leur soutien. Merci aussi à Ikram et les autres stagiaires pour tous les moments que nous avons pu passer ensemble, merci pour leur bonne humeur et leur énergie et les idées nouvelles qu'ils ont pu apporter à l'équipe.

Merci aux « spies », réunies par l'organisation de la journée des doctorants, merci pour tous les bons moments que nous avons pu passer toutes les trois, merci pour votre soutien dans les moments de doutes. Merci Lucille pour toutes des adaptations de Céline, et ta bonne humeur inconditionnelle, parce que « la vie c'est plus marrant, c'est moins désespérant *en chantant* ». Merci à toi Louise pour tes rires et ta zenitude à toute épreuve. Vous ne pouvez pas imaginer le soutien que vous m'avez apporté et surtout dans les derniers mois. En passant, je remercie également Lady GAGA, pour m'avoir inspiré pendant la rédaction de ce manuscrit ou bien c'est peut-être elle qui devrait me remercier pour toutes les vues que je lui ai fait sur YouTube.

Merci, à tous les membres de ma famille, ma sœur, mes parents, mes grands-parents, mes oncles et tantes et ma « belle-famille » pour avoir cru en moi et m'avoir soutenu même si tous n'ont pas encore bien compris ce que j'étais encore parti faire à Clermont-Ferrand. Je tiens également à remercier tout particulièrement ma tante Annie pour toutes ses corrections et ses commentaires dans mes écrits qui m'a permis de rendre mes documents plus agréables à lire depuis mon mémoire de fin d'étude jusqu'à ce manuscrit. Merci à ma maman, pour avoir réalisé les illustrations présentes dans ce manuscrit et pour avoir tenu son rôle de maman.

Enfin, merci à toi Bastien pour avoir cru en moi toutes ces années et avoir fait de moi la femme épanouie que je suis aujourd'hui. Ta réflexion sur la modélisation m'aura suivi tout au long de ce travail : « le modèle, il ne fait pas ce que tu veux, il fait ce que tu lui demande ! ».

Valorisation de la thèse

Publication dans des revues à comité de lecture

Thiery, Ben Chedly, Pierret, Veysset, Brunschwig, 2019 « Caractérisation du fonctionnement de systèmes de polyculture-élevage au niveau du territoire : approche par l'analyse de coûts de transactions » *Innovations Agronomiques* 72, p 15-29

Colloques internationaux et nationaux

Thiery, Brunschwig, Moraine, Pierret, Ben Chedly, 2017, « Caractérisation du fonctionnement de systèmes de polyculture-élevage au niveau du territoire : approche par l'analyse des coûts de transactions » Colloque « Les polycultures-élevages : valoriser leurs atouts pour la transition agroécologique », Dijon, les 10 et 11 octobre 2017

Thiery, Mosnier, Veysset, Brunschwig, 2018 « Simulation des intérêts agronomiques et économiques des échanges paille-fumier entre exploitations de grandes cultures et d'élevage » Journée de recherches en sciences sociales, Nantes, 13-14 décembre 2018

Thiery, Mosnier, Veysset, Brunschwig, 2019 "Organization of an alfalfa hay sector between cereal farms, livestock farms and a local cooperative" 70th Annual meeting of the European Federation of Animal Science, Ghent (Belgique), 26-30 Août 2019

Thiery, Mosnier, Veysset, Brunschwig, 2019 "Agronomic and economic interest of straw-manure exchanges between crop and livestock farms" 70th Annual meeting of the European Federation of Animal Science, Ghent (Belgique), 26-30 Août 2019

Autres communications

Thiery, Ben Chedly, Brunschwig, 2017 « Optimisation des systèmes de polyculture-élevage : une approche à l'échelle du territoire » Journée des doctorants et post-doctorants de l'UMRH, Theix, 31 mars 2017

Thiery, Ben Chedly, Brunschwig, 2017 « La polyculture-élevage via des coopérations entre exploitations spécialisées : Simulation et optimisation du fonctionnement des synergies entre culture et élevage » Séminaire annuel projet PSDR POEETE, Vesoul, 1 juin 2017

Thiery, Ben Chedly, Veysset, 2018 « Optimisation des interactions entre culture et élevage à l'échelle du territoire : un point sur la méthode » Journée des doctorants et post-doctorants de l'UMRH, Theix, 29 mars 2018

Thiery, Brunschwig, Veysset, Monsier, 2018 « Simulation des intérêts agronomiques et économique des échanges entre exploitations de grandes cultures et d'élevage : exemples des échanges paille-fumier » Séminaire annuel projet PSDR POEETE, Fontaine, 14 novembre 2018

Thiery, Brunschwig, Veysset, Monsier, 2018 « Intérêts et optimisation des interactions entre atelier de culture et d'élevage à l'échelle du territoire : exemple des échanges paille/fumier » Journée de l'Ecole Doctorale Sciences de la Vie, Santé, Agronomie, Environnement, Clermont-Ferrand, 14-15 juin 2018

Thiery, Mosnier, Veyssset, Brunschwig, 2019 « Simulation des intérêts agronomiques et économique des échanges entre exploitations de grandes cultures et d'élevage : exemples des échanges paille-fumier » Comité de pilotage Casdar RED-SPYCE, Paris, 24-25 janvier 2019

Thiery, Mosnier, Veyssset, Brunschwig, 2019 « Quel(s) intérêt(s) d'une optimisation des interactions entre exploitations agricoles favorisant les synergies entre ateliers de cultures et d'élevage ? », Intervention de vulgarisation de la recherche pour des lycées, Aurillac, 14 février 2019

Thiery, Brunschwig, Veyssset, Monsier, 2019 « Ode au fumier » Journée des doctorants et post-doctorants de l'UMRH, Theix, 05 mars 2019

Enseignement

Module élevage et environnement « Exploitations de type polycultures-élevages : voies d'études pour concilier efficacité économique et environnementale, Raisonner les impacts de l'élevage à des niveaux d'intégration différents » Ingénieur deuxième année, Agro Sup Dijon, 2017(1h30) -2018(3h) -2019(3h)

Cours de zootechnie générale (alimentation, reproduction, santé) Licence pro ABCD, Clermont-Ferrand, octobre 2018 (15h)

Tables des matières

Remerciements.....	1
Valorisation de la thèse.....	3
Tables des matières	5
Liste des abréviations.....	11
Avant-propos.....	13
Introduction générale	1
Chapitre 1 : Nécessité de reconnecter cultures et élevages pour le bouclage des cycles et d'améliorer la durabilité au niveau des territoires	5
1. Spécialisation des systèmes de production et des territoires au cours des dernières décennies	5
2. Limites des systèmes de productions agricoles actuels	7
3. La polyculture-élevage : une solution vers la transition agroécologique	9
3.1. Regain d'intérêt pour les systèmes de Polyculture-élevage.....	9
3.2. La polyculture-élevage : une diversité de systèmes, de structures et de pratiques	11
3.3. Mais des systèmes complexes : avec une forte demande de main d'œuvre	13
4. Une polyculture-élevage à l'échelle de plusieurs exploitations : une solution envisageable ?	14
4.1. La polyculture-élevage territoriale.....	14
4.2. Les dimensions qu'on lui concède	14
4.3. Une nouvelle notion : la coopération.....	17
5. Quels compromis économiques, sociaux et environnementaux	19
Chapitre 2 : Objectifs scientifiques et méthodologie générale	23
1. Hypothèse et objectifs de recherche	23
2. Méthodologie	25
2.1. Un travail en interaction avec les acteurs du développement	25
2.1.1. Intérêt d'impliquer des acteurs du développement dans notre démarche.....	25
2.1.2. Description des interventions auprès des acteurs à chaque étape de la thèse	26
2.2. Une approche par modélisation	27
2.2.1. Etat de l'art sur les modèles bioéconomiques	27
2.3. Adaptation du modèle à la question de recherche.....	34
2.3.1. Description globale du modèle	34
2.3.2. Adaptations	34

3.	Matériel	36
3.1.	Deux zones d'études	36
3.1.1.	Région Bourgogne Franche-Comté.....	36
3.1.2.	Région Rhône-Alpes.....	37
3.2.	Utilisation de cas type pour les simulations	39
Chapitre 3 : Caractérisation du fonctionnement de systèmes de polyculture-élevage au niveau du territoire : approche par l'analyse de coûts de transactions.....		43
1.	Introduction.....	44
2.	Matériel et Méthode.....	45
2.1.	Méthode d'analyse par les coûts de transactions.....	45
2.1.1.	Théorie des coûts de transactions.....	45
2.1.2.	Etapas des coûts de transactions : adaptées par Asai et al, (2018) aux démarches intégrant culture et élevage à l'échelle territoriale.	46
2.2.	Matériel : critères de sélection des cas d'étude	48
2.3.	Description des cas d'études	49
2.3.1.	Pâturage des dérobées par une troupe ovine d'une exploitation voisine	49
2.3.2.	Assolement en commun	49
2.3.3.	Valorisation de céréales et oléo-protéagineux produits en agriculture biologique pour l'alimentation animale	50
2.3.4.	Initiative de filières locales de tourteaux de soja non OGM (filiale soja locale)	51
3.	Comparaison des démarches et de leurs trajectoires par étape des coûts de transactions	53
3.1.	Collecte de l'information : un relationnel déjà établi facilite les coopérations	53
3.2.	Planification et négociation : incertitude et spécificité de l'actif, des attributs qui influencent le mode de gouvernance	54
3.3.	Mise en œuvre des transactions : des transactions à distance limitée par les coûts de transport	55
3.4.	Pilotage : retour sur la réciprocité des bénéfices de la coopération et ajustement du contrat.....	56
4.	Discussion générale.....	57
5.	Conclusion	58
Chapitre 4 : Modelling the value of straw/manure exchanges over the short and long term ..		65
1.	Introduction.....	65
2.	Materials and methods	67
2.1.	Description of the ORFEE model.....	67

2.1.1.	Main points of model.....	67
2.1.2.	Simulation of fertilization practices.....	67
2.2.	Description of the farms modeled	70
2.2.1.	Arable farm	70
2.2.2.	Livestock farm	71
2.3.	Scenarios and sensitivity analysis.....	71
2.3.1.	Scenarios	71
2.3.2.	Sensitivity analysis	72
3.	Results and discussion.....	73
3.1.	The interest of exchanges for an arable farm.....	73
3.1.1.	Technical and economic results	73
3.1.2.	Sensitivity analyses	75
3.2.	The interest of the exchanges for the Livestock farm.....	76
3.3.	Possibility for straw/manure exchange	77
3.3.1.	Organic input value according to contextual setting.....	77
3.3.2.	Transport costs.....	78
3.3.3.	The <i>social</i> dimension of the exchange.....	78
3.3.4.	<i>Complementary</i> solutions to cattle manure.....	79
4.	Conclusion	79
Chapitre 5 : Intérêts de la mise en place d'une filière foin de luzerne contractualisée par une coopérative pour valoriser les complémentarités plaine-montagne		87
1.	Introduction.....	87
2.	Matériel et méthode.....	89
2.1.	Présentation générale du modèle.....	89
2.1.1.	Prise en compte des effets agronomique et zootechnique de la luzerne dans le modèle 91	
2.1.2.	L'aversion au risque	92
2.2.	Description de la zone d'étude et des exploitations	93
2.3.	Description des exploitations.....	93
2.4.	Variabilité interannuelle des rendements et des prix des productions des exploitations d'élevage et de grandes-cultures	94
2.4.1.	Variabilité des rendements	94
2.4.2.	Variabilité des prix	95
2.4.3.	Les contrats	96

2.5.	Description des scénarios	97
2.5.1.	Les scénarios Grandes-cultures	97
2.5.2.	Les scénarios élevage.....	98
3.	Résultats	98
3.1.	Résultats de l'exploitation de Grandes-cultures	98
3.1.1.	Estimation du prix d'intérêt pour la production et vente de foin de luzerne	98
3.1.2.	Variabilité du résultat courant (sans aversion).....	99
3.1.3.	Influence de l'aversion au risque.....	100
3.2.	Résultats de l'exploitation d'élevage.....	101
3.2.1.	Autonomie du scénario témoin.....	101
3.2.2.	Prix d'intérêt pour l'achat de foin de luzerne	102
3.2.3.	Variabilité du revenu	104
3.2.4.	Influence de l'aversion au risque.....	105
4.	Discussions	105
4.1.	Discussion des résultats.....	105
4.2.	La place de la coopérative	106
4.3.	Retour sur les éléments pris en compte dans le modèle	106
4.4.	Risque qualité	107
4.5.	Délégation de la récolte	107
4.6.	Intérêt du contrat.....	107
5.	Conclusion	108
Chapitre 6 : Discussion générale.....		113
1.	Rappel des objectifs de recherche	113
2.	Bilan des résultats	113
2.1.	Axe 1 analyse de quatre coopérations culture- élevage par les coûts de transaction .	113
2.1.1.	L'importance des relations humaines.....	114
2.1.2.	Une diversité d'initiatives.....	114
2.1.3.	L'importance de la spécificité de l'actif et l'acceptation du changement.....	115
2.1.4.	Une méthode qualitative	115
2.2.	Axe 2 : faisabilité économique de deux coopérations culture-élevage.....	115
2.2.1.	Les échanges paille-fumier.....	115
2.2.2.	La filière foin de luzerne	117
3.	Retour sur la méthodologie	118

3.1.	Le travail avec les acteurs du développement.....	118
3.2.	Potentialité et limites de la modélisation pour répondre à notre problématique	118
3.2.1.	Généricité de la modélisation	118
3.2.2.	Pertinence de la modélisation.....	118
4.	Perspectives.....	120
4.1.1.	Les prochaines étapes.....	121
4.1.2.	La modélisation d'un système polyculture-élevage idéal	122
	Concluison Générale	127

Liste des abréviations

ACTA : Action de Coordination Technique Agricole

ARA : Auvergne-Rhône-Alpes

AOP : Appellation d'Origine Protégée

BFC : Bourgogne-Franche-Comté

CEE : Communauté Economique Européenne

CIPAN : Culture Piège A Nitrate

COMIFER : Comité d'étude et de développement de la Fertilisation raisonnée

FDCUMA : Fédération Départementale des Coopératives d'Utilisation de Matériel Agricole

GES : Gaz à Effet de Serre

IPPAP : Indice Prix des Produits Agricole à la Production

INRA : Institut National de Recherche en Agronomie

IRSTEA : Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

OGM : Organisme Génétiquement Modifié

PAC : Politique Agricole Commune

PACA : Provence-Alpes-Côte-d'Azur

PCE : PolyCulture-Elevage

POEETE : réfléchir la Polyculture-Elevage à l'Echelle des Territoires et de l'Exploitation

PSDR : Pour et Sur le Développement Régional

SAU : Surface Agricole Utile

SFP : Surface Fourragère Principale

RICA : Réseau d'Information Comptable Agricole

SMIC : Salaire Minimum Interprofessionnel de Croissance

STICS : Simulateur multi-disciplinaire pour les Cultures Standard

Avant-propos

Implication dans le projet POEETE

Mon travail de thèse s'est inscrit dans le cadre du projet PSDR POEETE, un projet de recherche action mené avec le soutien financier de l'INRA et IRSTEA et des conseils régionaux de Bourgogne-Franche-Comté et Rhône-Alpes. Les objectifs généraux du projet POEETE sont de recenser la diversité des systèmes d'exploitation de polyculture-élevage et d'identifier les pratiques innovantes permettant d'améliorer les triples performances : économique, sociale et environnementale. Ce projet vise aussi à identifier les modes d'organisation à l'échelle du territoire, et à développer des outils d'optimisation du fonctionnement des exploitations à différentes échelles. Il a également pour but d'identifier les freins et motivations à l'adoption et au maintien de la polyculture-élevage sur les territoires de ces deux régions.

Ma thèse s'est déroulée en collaboration entre AgroSup Dijon, VetAgro Sup Clermont-Ferrand et l'UMR Herbivores (INRA VetAgro Sup). J'étais inscrite à l'Ecole Doctorale Sciences de la Vie, Santé, Agronomie et Environnement (SVSAE) de l'Université Clermont Auvergne (UCA) à laquelle sont associés VetAgro Sup et l'UMRH. J'étais initialement encadrée par Gilles Brunschwig (Professeur à VetAgro Sup) et Hédi Ben Chedly (Maître de conférences à AgroSup Dijon) et basée à AgroSup Dijon avec des aller-retours réguliers à l'INRA de Clermont-Ferrand. Au cours de la seconde année de thèse, Hédi Ben Chedly a choisi de se désengager de l'encadrement de ma thèse ainsi que de l'animation scientifique du projet POEETE. Claire Mosnier et Patrick Veyssset (membres de l'équipe COMETE) ont alors accepté de prendre part à mon encadrement et je suis resté de façon définitive à Clermont-Ferrand pour terminer ma thèse. Gilles Brunschwig a également repris l'animation scientifique du projet. J'ai donc pu conserver une proximité avec l'animation scientifique du projet.

Mon arrivée dans la première année du projet et mon intérêt particulier pour toutes les dimensions de ce dernier m'ont valu au fil du temps de me créer une place de plus en plus importante dans le collectif concerné et d'acquérir des responsabilités au sein de l'animation du projet.

Lors de mes trois années de thèse, j'ai participé à la plupart des réunions du projet, ainsi qu'à l'organisation des séminaires annuels et la rédaction de certains compte rendu.

J'ai eu plusieurs fois l'occasion de présenter et défendre mes travaux, ainsi que plus largement le projet dans son ensemble, auprès des instances politiques régionales, et du comité scientifique des projets PSDR, notamment lors de deux comités de pilotages annuels des projets PSDR Bourgogne-Franche-Comté. De plus, la participation à la rédaction de notes d'avancement pour le projet et de dossiers de demande de financement m'a permis de découvrir, comprendre et éprouver les différentes étapes d'un montage de projet et de sa poursuite. Lors de différentes actions du projet, nous avons également été en interactions étroite avec les lycées agricoles des deux régions, avec les enseignants, mais aussi plusieurs

directeurs et directeurs adjoints d'exploitation, ce qui a aussi constitué une expérience très enrichissante et contribué à mieux encore m'approprier ce projet dans son ensemble.

J'ai participé à l'organisation de différents événements en lien avec le projet, avec en premier lieu l'organisation des séminaires annuels du projet, ainsi que l'organisation opérationnelle (soutien à l'équipe logistique) du colloque « Les polycultures-élevages : valoriser leurs atouts pour la transition agroécologique » tenu Dijon les 10 et 11 octobre 2017. J'ai également eu l'occasion représenter le projet dans un stand lors des rendez-vous de Tech&bio tenu à Aiserey en 2016.

Le projet POEETE en tant que projet interrégional (Bourgogne-Franche-Comté et Rhône-Alpes) est également inséré dans le programme PSDR National.

Dans ce cadre, j'ai pu participer aux premières réunions des groupes transversaux du projet national, dont le GT3 portant sur « Systèmes alimentaires forestiers, circuits et circularités » et prochainement le GT2 sur « Transition agro écologique et territoires ». L'intérêt de ces groupes est de pouvoir rapprocher les méthodes et les résultats des différents projet PSDR à l'échelle nationale et de pouvoir faire des productions groupées qui s'enrichissent avec plusieurs travaux complémentaires réalisés dans différentes régions, sur des objets d'étude proches ou à différentes échelles.

Pour les raisons présentées ci-dessus, mon rôle dans le projet POEETE a largement dépassé celui d'un doctorant classique.

Réflexion éthique dans ma thèse

Lors de ce cursus doctoral, j'ai été sensibilisée à l'éthique de la recherche. Voici les réflexions que j'ai pu avoir sur la question de l'éthique à chaque étape de ce travail.

Lors de l'appropriation du sujet, j'ai pris le temps pour une étude bibliographique poussée et la plus exhaustive possible afin d'être au fait de tous les travaux déjà réalisés dans le domaine.

J'ai également réfléchi à la visée humaine de mon travail. Je me suis questionné sur ses applications possibles pour savoir à quel niveau ma recherche pour servir à autrui. Lors de la collecte de données en enquête et dans les ateliers, je me suis assurée de l'accord des personnes présentes pour enregistrer les réunions et les entretiens. Toutes les données utilisées restent anonymes. Pour toutes les autres données, dont j'ai eu besoin pour implémenter le modèle, je me suis assurée de leur fiabilité en vérifiant la valeur des sources utilisées et en croisant plusieurs sources entre elles.

N'ayant pas de démarche qualité spécifique à mon travail, j'ai essayé, dans la mesure du possible de faire un compte rendu détaillé des modifications que j'ai apporté sur le modèle ainsi que les différentes actions que j'ai menées, qu'elles aient été fructueuses ou non. Ceci dans le but de garder une trace écrite de mon travail et des possibles modifications qui pourraient causer des changements et des dérèglements du modèle. Le modèle n'étant pas en ligne, j'ai effectué régulièrement des sauvegardes avec mes versions modifiées.

Lors de la rédaction de ce manuscrit je me suis appliquée à ne pas plagier d'autres travaux de recherche ou études techniques et à rester fidèle au contenu des données et informations sur

lesquelles je me suis appuyée. Toutes les études et les données utilisées pour ce travail sont sourcées.

Enfin, dans le cadre du projet de recherche-action dont mon travail fait partie, nous avons eu à rendre régulièrement des comptes aux membres du projet par le biais de séminaires annuels et lors des comités de pilotage du PSDR. Mes résultats ont pu commencer à être diffusés et le seront davantage dans la dernière année du projet, qui a pour objectif de valoriser tous les résultats produits pendant toute la durée du projet.

Ayant fait moi-même une Ode au fumier, je ne pouvais pas m'empêcher de vous partager l'Ode à la polyculture-élevage proposé par *Gilles Martel* et les membre du RMT SPyce lors du séminaire final Casdar REDSpyce

« Bien associer élevage et culture,
Voilà les fermes du futur,
Idele et Inra, aller porter ce message,
Pour qu'enfin on suive une voie sage,
Si tu entends la voix sage,
Enclenche le couplage :
C'est pour l'agroécologie tu ne feras point de folie,
Quelle folie de baisser ton autonomie,
Alimentation, fertilisation oui oui,
Il faut coupler les animaux et les cultures,
Pour que l'agriculture continue l

Introduction

Introduction générale

L'agriculture fait actuellement face à de nombreuses polémiques. Les systèmes de production agricole sont notamment montrés du doigt pour leur impact sur le climat, l'eau, la biodiversité et la santé humaine. Selon le Ministère de l'Agriculture, le secteur agricole, en 2015, contribuait à 20 % des émissions de gaz à effet de serre sur le territoire. 45 % de ces émissions correspondent aux émissions de méthane liés à l'élevage, 40 % de protoxyde d'azote liés à l'utilisation d'engrais azotés, effluent d'élevage et aux résidus de culture. Les 15 % restants, correspondent au dioxyde de carbone issu de la consommation d'énergie (fioul, gaz, électricité). De plus, la spécialisation en secteurs de production (animal d'un côté et végétal de l'autre) a conduit à une dépendance en engrais de synthèse pour les exploitations en grandes-cultures. En effet, elles ne disposent plus de déjections animales pour amender leurs sols, fertiliser leurs cultures et doivent faire face à une diminution de la fertilité des sols due à un niveau critique des taux de matière organique des sols cultivés (Loveland and Weeb, 2003). Cette situation engendre une augmentation de la sensibilité aux aléas (climatique, économique, etc.) et une stagnation des rendements (Brisson et al., 2010). D'autre part, les élevages sont de plus en plus dépendants de l'importation d'aliments riches en protéines à destination de l'alimentation animale. Le soja importé représente 52 % des protéines consommées en alimentation animale (Peyraud et al., 2014). Le secteur agricole se doit de trouver des solutions pour réduire son empreinte environnementale et se prémunir des risques de fluctuation des prix liés à l'ouverture des marchés.

Pour répondre à ces enjeux, nous nous devons de réfléchir à de nouveaux modes de production. Une solution mise en avant par les défenseurs de l'agro-écologie (Altieri 1987; Horlings & Marsden 2011; Dumont et al. 2013) est de mieux utiliser les complémentarités entre les productions agricoles. La complémentarité entre un atelier élevage et un atelier culture peut permettre le bouclage des cycles (azote, carbone). Cette complémentarité peut également favoriser l'utilisation plus efficiente des ressources naturelles et la mobilisation des régulations biologique (Gibon et al. 2001). Les interactions culture-élevage commencent à être un objet d'étude repris dans différentes disciplines. Il existe aujourd'hui plusieurs cadres permettant de conceptualiser les systèmes polyculture-élevage à l'échelle de l'exploitation et des territoires (Sumberg 2003 ; Moraine 2015 ; Ryschawy 2016). Cependant, bien qu'il y ait des cadres d'analyse éprouvés pour ces systèmes, il existe encore peu d'études quantitatives portant sur le fonctionnement des coopérations entre exploitations ayant une interaction culture-élevage. Ces interactions peuvent entraîner la transaction de marchandises (effluent ou culture) pour lesquelles il n'y a pas de marché organisé et donc peu de références sur les modes de transactions et sur les prix.

L'enjeu qui se dessine est alors de favoriser les échanges entre exploitations spécialisées d'élevage et exploitations spécialisées de grande culture. Cette mise en place d'échanges permettrait de valoriser leurs complémentarités, de viser ainsi à préserver et/ou sécuriser leurs ressources respectives tout en diminuant l'utilisation d'intrants de synthèse ou de matières premières importées. L'objectif de notre travail est donc de fournir des références sur les formes d'échanges qui existent déjà, sur les prix pour lesquels les deux parties pourraient

trouver un accord, voire être toutes deux gagnantes, et sur l'intérêt potentiel de contrats pour sécuriser les échanges.

La première partie de notre travail est *qualitative*. Nous y présenterons l'analyse de cas réels de collaborations au regard de la théorie des coûts de transaction. La seconde partie est *quantitative*. Nous chercherons à estimer le prix d'intérêt d'un fumier de bovins allaitants dans un échange paille-fumier entre une exploitation céréalière et une exploitation d'élevage d'une même région, avec différentes hypothèses quant à l'utilisation à court et long terme du fumier sur des parcelles cultivées. Nous verrons également, la contrepartie envisageable pour l'éleveur qui fournit le fumier. Dans un second temps, nous estimerons les prix d'intérêt pour la mise en place d'une filière courte de foin de luzerne, avec ou sans contrat, et impliquant une coopérative comme intermédiaire. Nous utiliserons pour cela un modèle bioéconomique qui optimise le fonctionnement de l'exploitation sous contraintes structurelles, agronomiques, zootechniques, économiques et réglementaires.

Chapitre 1 :

Nécessité de reconnecter cultures et élevages
pour le bouclage des cycles et d'améliorer la
durabilité au niveau des territoires

Chapitre 1 : Nécessité de reconnecter cultures et élevages pour le bouclage des cycles et d'améliorer la durabilité au niveau des territoires

Dans ce chapitre seront développés les différents éléments de contexte qui nous ont conduits à la problématique de ces travaux de thèse. Après une première partie retraçant l'évolution des systèmes agricoles depuis la révolution agricole du milieu du 20^{ème} siècle, nous définirons, les différents concepts de polyculture-élevage, de couplage et d'échelle territoriale. Nous aborderons également les facteurs expliquant le déclin de la polyculture-élevage et les freins à la re-diversification des exploitations spécialisées.

1. Spécialisation des systèmes de production et des territoires au cours des dernières décennies

A la sortie de la seconde guerre mondiale, les pays de la Communauté Economique Européenne (CEE) ont mis en place une politique communautaire sur les questions agricoles : la Politique Agricole Commune (PAC). Cette politique avait pour objectif d'augmenter la production agricole des pays membres pour atteindre l'autosuffisance alimentaire et de redynamiser leur économie.

Entre 1950 et la réforme de 1992, la mise en place d'un débouché garanti pour les productions agricoles à des prix élevés, ainsi que des protections douanières, ont stabilisé les marchés agricoles et réduit les risques économiques pour les agriculteurs. Par ailleurs, la recherche et le développement dans le domaine agricole ont permis la création et le déploiement de nouvelles technologies, ces dernières ont augmenté la productivité des différents facteurs de production des exploitations agricoles (notamment travail, foncier et animaux). La PAC a également soutenu les investissements et conduit à une restructuration des exploitations agricoles des pays membres. Ces différentes incitations ont conduit à un agrandissement des exploitations. Ceci a ainsi encouragé les agriculteurs à investir et à se moderniser.

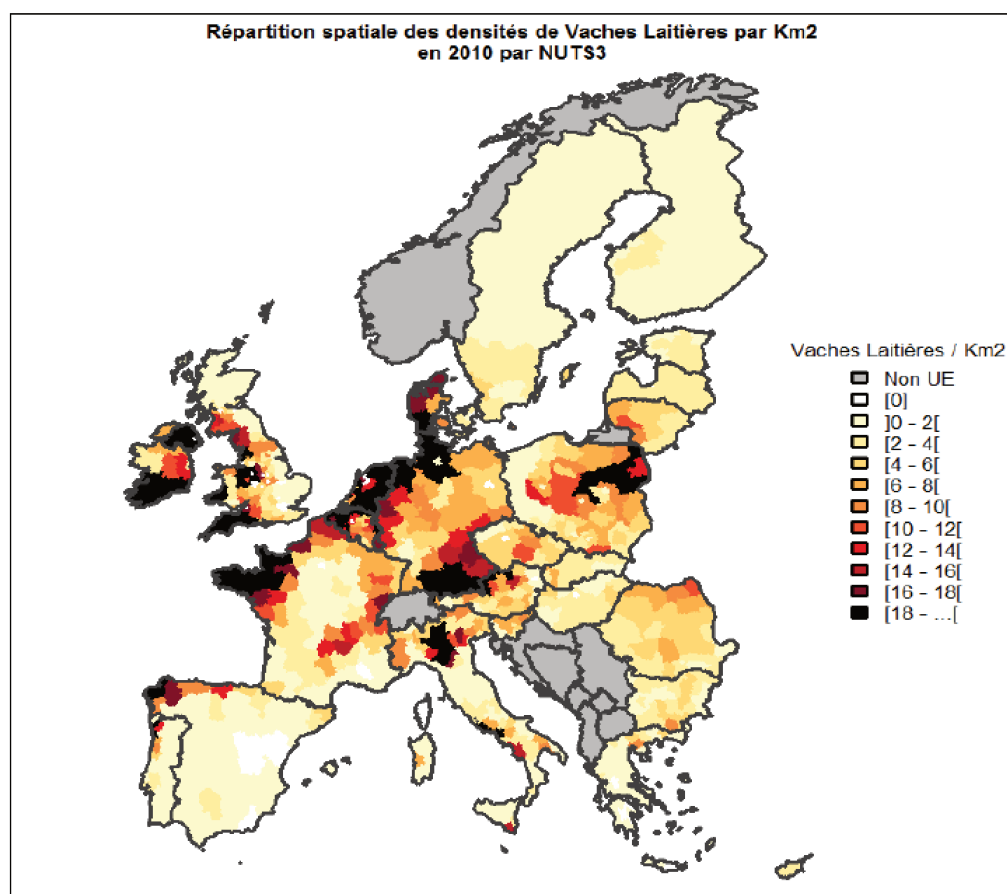
La baisse des prix de l'énergie et les progrès techniques ont permis aux agriculteurs de s'affranchir des contraintes naturelles (Chatellier et Gaigné 2012) et ainsi de réduire leur exposition aux risques autres qu'économiques. Ce fut une triple révolution sur les plans technique, politique et économique (Rieutort 2009). Les exploitations se sont concentrées en structures de moins en moins nombreuses et de plus en plus grandes (Roguet et al. 2015). L'augmentation plus rapide du prix du travail ainsi que l'usage de nouvelles techniques, telles que les pesticides et les antibiotiques, ont favorisé la spécialisation en permettant de simplifier les rotations et de concentrer les productions animales en limitant les risques sanitaires (Chatellier et Gaigné 2012).

Deux dynamiques principales de spécialisation se sont démarquées : une spécialisation vers les grandes-cultures d'une part et vers l'élevage d'autre part. Cette spécialisation des exploitations s'est faite en fonction des avantages comparatifs liés au contexte pédoclimatique des exploitations (de Wit et al. 2006). Les activités se sont ainsi concentrées dans des bassins de

productions. Ce mouvement de concentration a été favorisé par des avantages économiques comme les économies d'échelle et d'agglomération (Gaigné et Letord 2017).

Les productions végétales, en particuliers les grandes cultures de céréales et oléo-protéagineux ont été regroupées au niveau du bassin parisien et dans le sud-ouest du pays. L'utilisation des fertilisants chimiques au détriment de l'azote organique a contribué à l'abandon de l'activité d'élevage dans les territoires en conservant une bonne fertilité des sols (Chatellier et Gaigné, 2012). Cette spécialisation est devenue telle que certaines filières ont complètement disparu dans les zones ayant une autre spécialisation (Moraine et al. 2015). Les légumineuses fourragères, par exemple, ont disparu du paysage français depuis les années 70, ainsi que leurs usines de déshydratation (Magrini et al. 2016).

Roguet et al. (2015) décrivent les phénomènes de concentration des productions animales au sein de l'Union Européenne avec comme illustration les chargements animaux (nombre d'animaux par hectare de surface agricole). Ces derniers peuvent atteindre localement des niveaux très élevés, comme on peut le voir sur la carte figure 1, particulièrement aux Pays-Bas et en Belgique, zones colorées en noir sur la figure 1 représentant la densité en vache laitière dans les différentes régions d'Europe. En France, Espagne et Allemagne, les surfaces agricoles étant plus conséquentes, la répartition du chargement s'équilibre entre trois types de zones, les zones à faible chargement, les zones intermédiaires et les zones plus intensives. On retrouve la Bretagne pour la France, la Galice pour l'Espagne et la Rhénanie du Nord-Westphalie et la



Source : Eurostat - Traitement RMT Economie des filières animales – INRA Productions Animales, vol 28 (1)

Figure 1 : Carte représentant la densité de vaches laitières sur les territoires européens tiré de Roguet et al. 2015

Basse-Saxe pour l'Allemagne. En France, on identifie plusieurs bassins de production spécialisés en céréaliculture, horticulture et en élevage de bovin laitier, porc et volaille.

D'autre part, le phénomène de spécialisation a entraîné la disparition de filières liées à l'élevage dans certaines régions. La luzerne par exemple était présente dans le Bassin de la Seine jusqu'en 1970 et pouvait représenter jusqu'à 10 à 15 % de la surface agricole utile des exploitations. Les surfaces en cultures de luzerne ont diminué de 80 % en quarante ans et se sont concentrées en Champagne Crayeuse, où le contexte pédoclimatique était favorable à des rendements élevés. Durant cette période, un grand nombre d'usines de déshydratation de luzerne ont cessé de fonctionner, réduisant les débouchés pour cette culture.

D'autres filières se sont concentrées dans des régions avec des avantages comparatifs pour les productions animales. Prenons l'exemple de l'élevage en Bretagne à proximité des ports où se sont concentrés des systèmes avec une production intensive appuyée sur les importations aliments.

Selon une théorie décrite par Gaigné (2006), d'un point de vue purement économique les mécanismes de marché peuvent conduire à une concentration géographique excessive de production. Les effets d'agglomération peuvent alors empêcher la création de nouvelles filières dans d'autres régions. Ceci est en partie dû au manque d'industrie de transformation dans les régions auparavant non spécialisées dans la production en question.

L'agglomération est un phénomène de rapprochement des exploitations spécialisées dans la même production, ce qui favorise le regroupement des entreprises d'aval autour de ces exploitations, c'est par exemple le cas pour la filière laitière (Mosnier et Wieck 2012). Cette agglomération permet de générer des économies externes en rapprochant les exploitations des services dédiés ce qui facilite la collecte et le traitement des produits ainsi que les échanges de services et de savoir-faire. C'est particulièrement le cas pour les systèmes laitier, porcin et volaille (Chatellier et Gaigné 2012).

Dans un régime d'agriculture hyperspécialisée, l'ensemble des acteurs, des agriculteurs aux filières amont et aval en passant par le conseil et l'enseignement agricole, est pensé de façon sectorisée. La séparation des cultures et de l'élevage entraîne un effet de verrouillage qui limite la possibilité de communication et d'interactions entre les ateliers (Moraine 2015 ; Meynard et al. 2013). Même si d'autres modes d'organisation sont possibles et pourraient s'avérer dans certains contextes plus efficaces, le coût de coordination des acteurs des filières pour effectuer des changements est tellement élevé qu'ils ne sont pas adoptés. Ces coûts sont d'autant plus élevés que les acteurs de la filière sont nombreux.

2. Limites des systèmes de productions agricoles actuels

Avec une forte intensification de la production et l'utilisation croissante d'intrants de synthèse, cette politique communautaire a permis d'atteindre l'autosuffisance alimentaire. La spécialisation et la concentration en bassins de production a conduit à un découplage des cycles biogéochimiques, entraînant des externalités négatives sur la qualité de l'air, de l'eau et des sols.

En 2004, la contribution de l'élevage dans les émissions de gaz à effet de serre était comprise entre 9 et 12 % des émissions de l'Union Européenne (Leip et al. 2010). En 2013, l'agriculture représentait 93 % des émissions d'ammoniaque et 18 % de particules fines (10 et 2.5 µm) pour les pays de l'Union.

L'utilisation d'intrants de synthèse, lors de leur fabrication, leur transport et les pertes dans les sols, occasionne des pollutions notamment de l'eau en azote et en phosphore ceci amenant des problèmes d'eutrophisation des milieux aquatiques.

De plus, l'utilisation pratiquement exclusive d'engrais minéraux dans les bassins de productions en grandes cultures entraîne une baisse des taux de carbone organique dans les sols. Or, le carbone organique joue un rôle crucial dans la fertilité des sols, la production de biomasse et la qualité de l'eau. Le stockage de carbone dans les sols est également un moyen de lutter contre le réchauffement climatique (Lal et al. 2004).

La réduction de la durée des rotations avec des cultures concentrées dans des espaces géographiques restreints augmente le risque de maladies des végétaux ce qui pousse à une utilisation accrue de produits phytosanitaires. Cette situation entraîne une dépendance de plus en plus forte aux intrants, qui augmentent les charges et le coût de production.

La machinerie incitative engagée a fini par s'emballer et créer un déséquilibre entre la production et la demande, notamment en céréales aujourd'hui fortement exportées et pour d'autres productions comme le lait par exemple. Plusieurs de ces productions ont fait pendant de nombreuses années, l'objet de quotas pour réduire la surproduction et stabiliser les marchés et les filières. Cependant, la tendance actuelle à la dérégulation des marchés, la suppression successive des quotas et l'ouverture des marchés mondiaux augmentent l'exposition aux risques économiques, avec des fluctuations de prix des produits de plus en plus fortes. Sneessens (2014) ainsi que d'autres auteurs (Veyssset et al. 2014 ; Ryschawy et al. 2012) ont montré que le découplage des ateliers de culture et d'élevage augmentent la vulnérabilité des exploitations agricoles aux aléas. En effet, l'étude de Sneessens (2014), sur la comparaison de systèmes d'élevage spécialisés ou mixtes (c'est-à-dire des exploitations comportant au minimum un atelier de cultures et un atelier d'élevage), montre une moindre sensibilité des exploitations mixtes, aux fluctuations des prix aussi bien des intrants que des produits. D'autres auteurs ont aussi décrit la diversification des ateliers comme un point fort pour la capacité d'adaptation et la résilience des exploitations. Selon certains auteurs, l'atout des systèmes mixtes est la valorisation des synergies entre les ateliers de culture et d'élevage, qui permettent des économies de gamme avec entre autres une diminution des coûts d'équipement (Schiere et al. 2002 ; Anderson et al. 2005 ; Perrot 2011).

Les phénomènes de mondialisation, de concentration des industries agroalimentaires et de la grande distribution diminuent par ailleurs le pouvoir des agriculteurs sur la détermination des prix des produits ainsi que sur la fluctuation des prix de ces derniers.

De plus, les modes de production ouverts sur les marchés mondiaux ont engendré une dépendance notable des systèmes d'élevage aux importations d'aliments riches en protéine, (Peyraud et al. 2014). En 2010, le niveau d'autosuffisance protéique de l'alimentation animale, en France était de l'ordre de 75 % en moyenne (Domingues 2017).

Les défis actuels soulevés par la science et la société obligent à réfléchir aux modes d'organisation, de production et aux pratiques.

3. La polyculture-élevage : une solution vers la transition agroécologique

3.1. Regain d'intérêt pour les systèmes de Polyculture-élevage

Depuis presque deux décennies, la littérature ainsi que des initiatives locales portent un nouveau regard sur les systèmes de polyculture-élevage (PCE) dans différentes régions du globe. Dans leur étude, De Moraes et al. (2014), montrent une explosion du nombre de publications sur le sujet de l'intégration culture élevage dans le monde entre 2005 et 2011 (Figure 2). Ceci concerne plusieurs parties du globe dont le Brésil, les Etats-Unis et l'Europe.

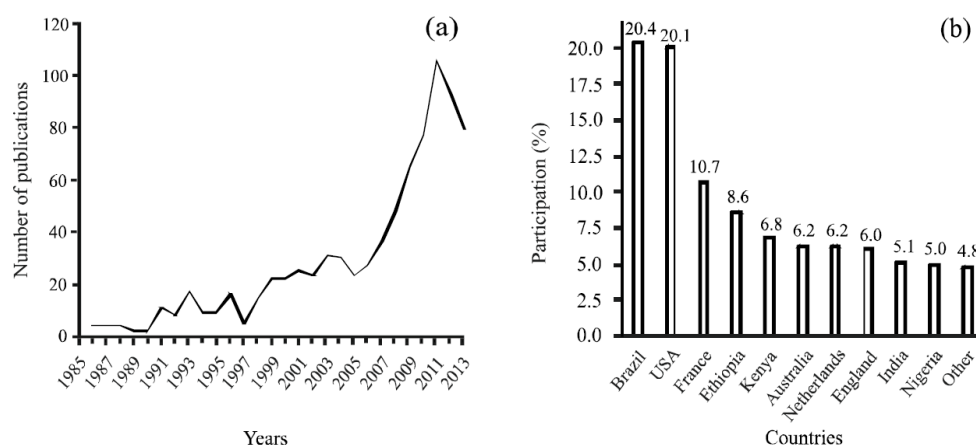


Figure 2 : Recensement des publications annuelles entre 1986 et 2013 (a) et part en pourcentage de la contribution des pays (b) dans la publication de revues sur les systèmes de polyculture-élevage tiré de De Moraes et al. (2014)

Les programmes de recherche sur la PCE sont, en effet, nombreux depuis cette période. L'Australia's Grain and Graze Program¹ est, par exemple, un programme expérimental national mené depuis 2003 en Australie sur la rentabilité et la durabilité des systèmes de polyculture-élevage (Garrett et al. 2017). Plusieurs thématiques clés ont été traitées au cours des différentes versions de ce programme. Les premières versions se sont intéressées à la gestion de l'alimentation et de la biodiversité dans des systèmes culture/pâturage, et se sont ciblées sur le pâturage des parcelles cultivées et la gestion des rotations cultures/prairie. Leurs principaux résultats montrent une augmentation des performances économiques à l'échelle de l'exploitation, avec le pâturage de céréales en stade de croissance et l'implantation de luzerne dans des rotations. Ils mettent également en lumière, l'intérêt de ces pratiques pour l'optimisation du chargement et la sécurisation du système fourrager aux périodes estivales. Il existe aussi des programmes de politiques incitatives pour la promotion de la polyculture élevage comme au Brésil avec la Brazil's National Crop-Livestock Forestry Integration Policy (Garrett et al. 2017). En Europe, le projet Cantogether (Crop and Animals Together) conduit entre 2012 et 2016 avait pour objectif d'explorer les bénéfices environnementaux et socio-économique des systèmes de polyculture-élevage à l'échelle de l'exploitation jusqu'à l'échelle de la région. Les principales conclusions de ce projet montrent qu'à l'échelle de la ferme,

¹ www.grainandgraze3.com.au consulté le 05/09/2019

l'intégration culture-élevage donne de meilleures performances environnementales (Alig et Mischler 2015). A l'échelle du territoire, les coopérations entre systèmes spécialisés permettent une meilleure valorisation des ressources locales, bien que cela soit souvent pour intensifier la production (Regan et al. 2017). Selon ces travaux, les enjeux pour le développement des intégrations culture-élevage sont principalement d'ordre organisationnel comme la gestion du travail et les innovations identifiées sont contexte-dépendantes.

En France, plusieurs projets et réseaux ont également vu le jour dans la dernière décennie. Dans le but d'améliorer les performances économiques et environnementales des fermes, le projet Casdar RED SPyCE (Résilience Efficacité et Durabilité des Systèmes de PolyCulture-Elevage), a pour objectif d'apporter des réponses techniques et organisationnelles aux exploitations en systèmes de polyculture-élevage. Le réseau mixte technologique du même nom, RMT SPyCE², a été labellisé en 2013. Ce réseau réunit l'Institut de l'Elevage, l'ACTA, l'INRA et d'autres instituts. Son objectif vise à améliorer la valorisation des complémentarités possibles entre culture et élevage à l'échelle de l'exploitation et des territoires (Mischler 2016). Le projet Casdar CER'EL³ a porté plus spécifiquement sur les freins sociologiques, organisationnels et juridiques (Lecadre 2015) dans la mise en place de complémentarités entre culture et élevage au niveau territorial (Boudet 2015). Leurs principaux résultats mettent en lumière l'intérêt du couplage des ateliers de culture et d'élevage : la polyculture-élevage couplée permet de régulariser le revenu de l'exploitation et de réduire les impacts négatifs sur l'environnement. Ce couplage nécessite une approche globale de l'exploitation, puisqu'elle représente plus que la somme des ateliers qui la composent et demande une coordination des conseils en production animale et en production végétale. A l'issue de ce projet, l'outil d'accompagnement NiCC'El a été créé, pour l'animation de groupes sur le calcul du couplage et les pistes d'évolution des exploitations (Martel et al. 2017).

Luz'co⁴ avait pour but de développer des démarches collectives autour des légumineuses : c'est un projet de recherche-action, porté par la FRCUMA et cofinancé par le Casdar sur la période 2016 -2019. Plus d'une dizaine de partenaires sont réunis autour de ce projet (instituts techniques, chambres d'agricultures, fédérations de CUMA, établissements d'enseignement agricole, organismes de conseil en élevage laitier ou association spécialisée dans le séchage des fourrages). Les principales solutions proposées par le projet sont déclinées sous quatre leviers : optimiser les chantiers de récolte, sécher les fourrages, nouer des échanges gagnants-gagnants se questionner, se former, expérimenter en groupe.

Le projet PS DR POEETE est un projet de recherche action mené avec le soutien financier de l'INRA et IRSTEA et des conseils régionaux de Bourgogne-Franche-Comté et Rhône-Alpes. Les objectifs généraux de ce projet sont de recenser la diversité des systèmes d'exploitation de polyculture-élevage et d'identifier les pratiques innovantes permettant d'améliorer les triples performances : économique, sociale et environnementale. Il vise à identifier les modes

² rmt-polyculture-elevage.org consulté le 05/09/2019

³ idele.fr/fileadmin/medias/Documents/RMT_SPYCE/Presentation_CRAC__CEREL_RMT_SPYCE_20151008.pdf

⁴ luzco.fr

d'organisation à l'échelle du territoire, et développer des outils d'optimisation du fonctionnement des exploitations. Il a également pour but d'identifier les freins et motivations à l'adoption et au maintien de la polyculture-élevage. Nous verrons une partie des résultats de ce projet dans ce manuscrit.

Ces projets ne représentent qu'une partie des travaux en partenariat de recherche et développement en lien avec les systèmes de production en polyculture-élevage (Ramonteu et al. 2014). Beaucoup d'autres projets traitants plus spécifiquement de l'alimentation animale, de la fertilisation organique ou encore de l'évaluation de la durabilité de ces systèmes ont été réalisés ou sont encore en cours de réalisation.

3.2. La polyculture-élevage : une diversité de systèmes, de structures et de pratiques

Dans cette partie, il convient en premier lieu, de donner une définition des systèmes de polyculture-élevage (PCE). Or, les travaux menés dans le cadre du RMT SPyCE par Mischler et Veyssset (2015) ont montré qu'il existe différentes visions et définitions de la polyculture élevage. Selon les sources, les définitions sont basées sur des seuils agronomiques et économiques ou seulement économiques (Seré et al. 1996 ; Agreste).

Plusieurs définitions sont admises. Une première, décrit le système à l'aide de seuils économiques et agronomiques soit « [...] *des systèmes d'élevage dans lesquels plus de 10 % de la matière sèche pour l'alimentation animale provient de coproduits végétaux de l'exploitation et plus de 10% de la valeur produite provient d'activités agricoles autres que l'élevage* » (Seré et al., 1996).

Une seconde définition issue du projet Cantogether, est basée sur des éléments structurels de l'exploitation tel que la présence d'animaux, d'herbe, de cultures fourragères, de cultures de vente ainsi qu'un critère d'intra-consommation de grains par le troupeau.

La troisième définition, imaginée par l'Institut de l'Élevage et l'Agroscope (2013 citée dans Mischler et Veyssset 2015), s'appuie sur l'interaction entre les ateliers de culture et d'élevage. Elle peut se traduire par l'intra-consommation de concentrés, la proportion d'azote organique dans l'azote total utilisé sur les cultures, l'intra-consommation de protéines issues de concentrés ou encore la surface en légumineuses pures.

La polyculture-élevage peut être définie à plusieurs niveaux : au niveau de l'exploitation, du territoire ou des filières. Dans cette définition, le territoire peut avoir plusieurs formes : une petite région agricole, une zone géographique homogène, ou une zone de rayonnement d'une filière ou d'un opérateur (coopérative etc.). D'après Van Keulen et Schiere (2004) les systèmes de polyculture élevage peuvent être décrits comme : « *L'association, l'intégration entre cultures et élevage dans un cadre coordonné, le plus souvent à l'échelle de l'exploitation, bien que l'association puisse être considérée au niveau régional* »

Selon ces mêmes auteurs (Mischler et Veyssset 2015), avoir une définition unique est illusoire. Il existe un consensus sur le fait que les données structurelles ne sont pas suffisantes pour définir la PCE. En effet, l'intégration ou couplage permet de compléter la caractérisation sur les aspects fonctionnels. L'**intégration** culture-élevage se caractérise par un système qui exploite les synergies et les propriétés émergentes qui résultent des interactions entre le sol-les plantes-

les animaux et l'atmosphère dans un espace où les activités d'élevage et de culture sont intégrées à une échelle spatiale et temporelle (De Moraes et al. 2014).

Selon ces travaux, il paraît déterminant de prendre en compte la diversité des situations sur le terrain afin de mieux trouver les moyens de soutenir les systèmes de polyculture-élevage. Ils expriment le besoin de combiner les aspects économiques, structurels et fonctionnels pour avoir une définition complète.

Les travaux de Ryschawy et al. (2014) concluent qu'il reste des efforts de précision pour décrire les niveaux d'intégration ou de couplage entre élevage et culture. Derrière la notion de couplage, il s'agit de discuter des échanges de matière entre ateliers (intra-consommation de fourrage de paille de concentrés ; recyclage de l'azote organique), économie de gamme sur le matériel, organisation des compétences présentes. Ce couplage entre ateliers de culture et élevage est promu par de nombreux auteurs. En effet, les systèmes de polyculture-élevage sont intéressants au niveau environnemental du fait des services écosystémiques qu'ils procurent. La notion de **services écosystémiques** définit les services rendus par l'écosystème qui peuvent être catégorisés sous quatre types : services de support, d'approvisionnement, de régulation et un service culturel. Rodriguez et al. (2006) ainsi que d'autres auteurs ont montré qu'il existait des antagonismes entre les différents processus de l'écosystème, ce qui nécessite de faire des compromis entre les différents services.

Les exemples, cités dans des études, sont nombreux. Les cultures pluriannuelles telles que les prairies, permettent l'amélioration de la fertilité du sol, la régulation des maladies et la séquestration de carbone (Bonaudo et al. 2014 ; Lemaire et al. 2014 ; Peyraud et al. 2014 ; Soussana and Lemaire 2014 ; Sulc and Franzluebbers 2014). En effet, la prairie, par exemple, diminue, au niveau du sol, les perturbations causées par le travail du sol pour les cultures annuelles ce qui favorise le développement de la vie microbienne dans le sol et sa fertilité. La durée de présence de la prairie permet également de couper le cycle des adventices et des maladies des cultures et de stocker du carbone par un développement de biomasse racinaire plus durable (bien que ce stockage de carbone ne soit pas illimité). Certains auteurs soulignent l'efficacité de l'utilisation de la ressource naturelle dans ces systèmes (De Moraes et al. 2014 ; Schiere et al. 2002 ; Sulc and Tracy 2007 ; Veyssset et al. 2014) en partie grâce à la capacité des animaux à valoriser les ressources végétales, en particulier celles qui ne sont pas valorisables directement par l'homme, comme par exemple les surfaces en prairies (Bonaudo et al. 2014), mais également par le recyclage des nutriments grâce au retour des effluents d'élevage pour la fertilisation des cultures (Hendrickson et al. 2008). Ce recyclage limite les pertes en éléments nutritifs et fertilisants et contribue à l'amélioration de l'autonomie de l'exploitation (Ryschawy et al. 2012).

Pour beaucoup, les systèmes mixtes (culture-élevage) présentent de nombreux intérêts sur le plan environnemental. Seulement, la plupart des effets présentés ici ont été étudiés au niveau des processus biophysiques et sont peu ou pas mesurés au niveau de l'exploitation agricole. Certains experts remettent en-doute ces intérêts au niveau de l'exploitation agricole, en partie parce qu'il existe une diversité de systèmes regroupant culture et élevage et qu'ils ne se valent pas tous. Veyssset et al. (2014) montrent que les exploitations de polyculture et élevage de bovins allaitant non couplées sont moins efficaces du point de vue de la consommation de

concentrés et de fertilisation minérale par rapport à des systèmes couplés dans lesquels les cultures sont à destination exclusive du troupeau.

Il existe également des divergences d'opinion sur les performances économiques des systèmes PCE. Selon (Herrero et al. 2010 ; Peyraud et al. 2014 ; Soussana and Lemaire 2014) associer culture et élevage peut permettre d'améliorer la productivité des systèmes agricoles, voire la résilience et la capacité d'adaptation au changement (Milestad et al. 2012 ; Havet et al. 2014 ; Peyraud et al. 2014) ainsi que la viabilité du système de production (Russelle et al. 2007, Wilkins 2008). La diversification des revenus réduit les fluctuations inter et intra annuelles (Van Keulen and Schiere 2004).

En revanche, dans une étude sur la comparaison des systèmes mixtes et spécialisés en ovins viande de la Vienne, Sneessens (2014) a montré que les performances économiques augmentent en même temps que la part des surfaces en culture dans les systèmes mixtes sélectionnés. Cette étude montre l'intérêt économique à augmenter les surfaces en culture et met en évidence la différence liée à un élément déterminant qu'est le couplage entre les ateliers. En effet, Sneessens (2014) explique que tous les systèmes PCE ne se valent pas. Cette étude compare la productivité entre les systèmes couplés et découplés et montre que les systèmes avec un couplage entre les ateliers obtiennent un meilleur revenu par travailleur que les systèmes découplés.

3.3. Mais des systèmes complexes : avec une forte demande de main d'œuvre

Cependant, réussir ce re-couplage est un véritable défi. En effet, il a été démontré que la diversification d'une exploitation spécialisée entraîne un certain nombre de contraintes au niveau des ressources en main-d'œuvre et infrastructures (Regan et al. 2017). La principale ressource contraignante est la main-d'œuvre. Les travaux de projet RED SPyCE ont mis en évidence une charge de travail supérieure en élevage, ainsi qu'un agrandissement des exploitations à main-d'œuvre constante. Ils soulignent de plus une moindre rentabilité des élevages par rapport aux cultures, qui n'inciterait pas les agriculteurs à rechercher une complexification du système en ajoutant de l'élevage avec un gain incertain.

La complexité des interactions entre culture et élevage peut limiter leur mise en place (Bonaudo et al. 2014). La diversification des ateliers entraîne une diversification des tâches et l'organisation du couplage entre ateliers augmente la réflexion sur la gestion globale du système ainsi que la charge de travail (Dumont et al. 2012 ; Sneessens 2014). Les travaux de simulation des trajectoires d'exploitation en polyculture-élevage de Steinmetz et Mosnier (2019) montrent un arrêt de l'élevage dans un contexte à haut potentiel agronomique et en particulier, dans les zones en bordure des bassins de production céréalier ainsi qu'un agrandissement des exploitations au profit des cultures.

Bien que les systèmes polyculture-élevage couplés aient le potentiel pour réduire leur empreinte environnementale (Marton et al. 2016), la réussite de ces derniers dépend en partie des compétences de l'exploitant. Ces systèmes PCE demandent des compétences managériales, des connaissances théoriques et techniques ainsi que des investissements en capital (Garrett et al. 2017). Plusieurs auteurs proposent comme alternative d'élargir l'échelle du couplage entre culture et élevage à travers des coopérations ou des partenariats entre des

exploitations spécialisées en grandes cultures et en élevage par exemple (Bell et Moore 2012 ; Bell et al. 2014 ; Franzluebbers et al. 2014 ; Russelle et al. 2007). Ces partenariats sont envisageables dans des zones géographiques intermédiaires ou dans des zones spécialisées rapprochées.

4. Une polyculture-élevage à l'échelle de plusieurs exploitations : une solution envisageable ?

4.1. La polyculture-élevage territoriale

Depuis le néolithique, l'agriculture se transforme à travers des processus d'**action collective** (Lucas et al. 2014). Les enjeux actuels de recherche de nouvelles solutions agronomiques et stratégies économiques, de plus de productivité du travail, mais aussi la prise de conscience des problèmes environnementaux, la multiplication des normes et des réglementations, ainsi que les autres mutations perpétuelles (Benali 2005), obligent les agriculteurs à s'adapter.

Selon les travaux de Moraine (2015), depuis les années 2000 plusieurs auteurs ont envisagé des reconnexion entre culture et élevage à l'échelle du territoire. Russelle et al. (2007), Lemaire (2007) et Wilkins (2008) proposent une intégration culture-élevage supra exploitation. Au niveau national et international, plusieurs terminologies sont proposées pour analyser ces interactions. Il existe autant de terminologies que de forme de coopérations entre fermes spécialisées en culture et en élevage. Dans un premier temps, Moraine (2014) parle d'intégration culture élevage à l'échelle territoriale (ICET) ou encore d'intégration au-delà de l'exploitation (crop-livestock integration beyond the farm level). Il existe dans la littérature, plusieurs délimitations possibles de ces coopérations. La **coopération** peut se définir comme un accord entre deux ou plusieurs organisations indépendantes qui s'engagent à travailler ensemble. Cette démarche permet la mise en commun des ressources et des compétences (Benali 2005). Le principal avantage de la coopération pour un organisme est de pouvoir accomplir des actions qu'il lui serait impossible d'accomplir seul. Elle permet une augmentation des performances et du nombre de tâches réalisées dans un délai imparti. La coopération peut également améliorer l'utilisation des ressources (Ferber 1995).

On retrouve par exemple des terminologies du type coopération au-delà de l'exploitation : *regional, among-farm, area-wide integration* et également le *collective level* (Ryschawy et al. 2017), sans délimitation géographiques et *cooperation between farms* (Regan et al. 2017).

Dans la définition de la PCE proposée par le RMT SPyCE, une délimitation du territoire est proposée : le territoire se définit par les acteurs autour d'un enjeu partagé. Nous choisirons cette définition dans le reste de l'étude, dans le sens où le zonage géographique restera volontairement flou avec un rayon maximum correspondant à une région française et seule une partie des acteurs-sera prise en compte.

4.2. Les dimensions qu'on lui concède

Différents niveaux d'imbrications ont déjà été conceptualisés pour caractériser les coopérations entre plusieurs exploitations spécialisées. Les travaux réalisés par Ryschawy et al.

(2017) et Moraine et al. (2015), classent les intégrations entre exploitations selon quatre degrés d'interaction.

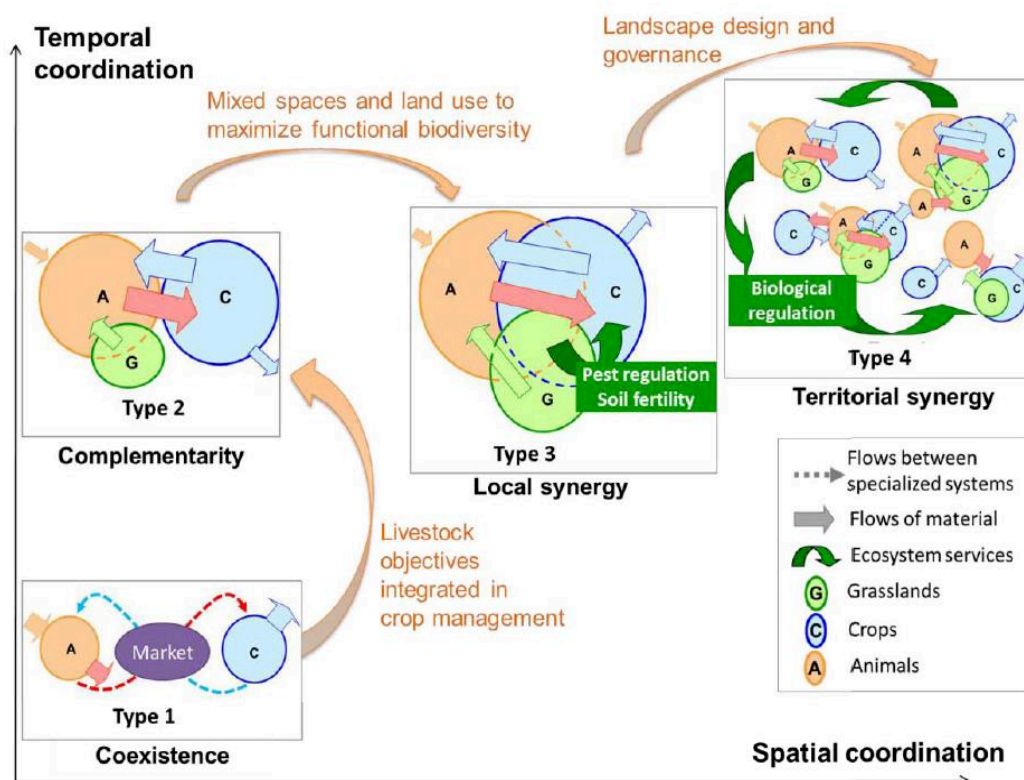


Figure 3 : Schéma de la typologie des différents types d'intégration culture élevage à l'échelle de plusieurs exploitations agricoles tiré de Moraine (2015)

Le *premier type* aussi appelé « coordination globale » ou « coexistence » sur le schéma de la figure 3 correspond à un échange de matière comme par exemple, des graines, fourrages ou encore des engrais de ferme. Ce type représente une coexistence entre exploitations spécialisées qui échangent des produits par le biais du marché. Le *second type* ou « complémentarité » correspond à une première étape d'intégration entre plusieurs exploitations. Dans ce cas de figure, il y a une organisation autour du marché, le système de culture sera par exemple conçu pour répondre plus spécifiquement aux besoins d'un élevage qui offrira en échange une partie de ses engrais de ferme pour la fertilisation des terres cultivées. Le *troisième type* aussi nommé « synergie locale » décrit des coopérations avec de plus grandes interactions entre les sphères : animal, culture et prairie. Ce qui génère des synergies locales à l'échelle des exploitations. Les interactions sont aussi bien d'ordre spatial que temporel. Il correspond aux coopérations avec l'introduction de prairies dans les rotations, ou de légumineuses en interculture. Le dernier type « synergies territoriales », s'applique lorsque plusieurs exploitations du type trois interagissent ensemble au niveau du territoire à travers une co-conception du paysage et une gouvernance territoriale.

Ryschawy et al. (2017) ont également décrit plusieurs modes d'organisation de ces interactions (Figure 4). On trouve tout d'abord la plateforme d'échange en ligne qui permet des relations d'échanges multiples. Ces plateformes sont utilisées pour mettre en lien céréaliers et éleveurs avec une organisation multi-relationnelle. Cet outil est décrit dans ces travaux comme facile

d'utilisation mais seulement pour des échanges occasionnels. Il ne permet pas de créer du lien entre les agriculteurs. Le second mode d'organisation décrit est celui des échanges polycentriques. Ils correspondent à une organisation entre des agriculteurs voisins formant des groupes de 3 à 10 personnes permettant d'avoir un management collectif et une re-conception du travail à la ferme. Enfin, les échanges centralisés via une coopérative, mettent en relation un grand nombre d'exploitations. Ils nécessitent parfois des investissements initiaux forts. Selon ces résultats, les échanges polycentriques sont les plus adaptés pour atteindre l'autonomie à l'échelle collective tout en ayant une gestion du travail adaptée et une viabilité économique.

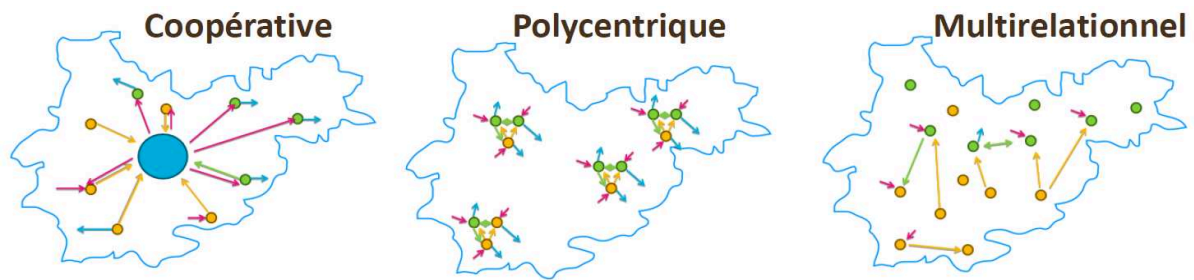


Figure 4 : Représentation des différentes formes de collectifs (Coopérative, polycentrique et multi-relationnel) tiré de Ryschawy et al., 2017

Sumberg (2003) (dans Bell et Moore 2012), propose également un cadre conceptuel sur les interactions entre culture et élevage représenté par la Figure 5. Il propose quatre dimensions liées entre elles : *deux dimensions physiques*, l'espace et le temps et *deux dimensions organisationnelles* que sont la propriété et la gestion de chaque atelier individuellement ou en groupe. Ces interactions peuvent donc être réfléchies au niveau d'une exploitation ou d'un groupement. Selon ce cadre, la synchronisation est le plus haut degré d'interaction. Les ateliers interagissent dans le même lieu avec les mêmes ressources, dans le même cycle de gestion comme par exemple des cultures et des fourrages cultivés en association. Le degré d'interaction inférieur est nommé « rotation ». Dans ce dernier, il existe une séparation temporelle des activités mais il reste le partage d'un même espace sur des cycles longs quand des cultures sont converties en fourrage par exemple. Les activités séparées correspondent à des productions dans des espaces séparés, par exemple les échanges paille-fumier, ce qui ajoute du transport. Enfin, l'intégration territoriale demande une coopération entre deux ou plusieurs exploitations comme les échanges de fourrages, de grain, de fumier. Selon ce même auteur, ces coopérations se produisent souvent dans des lieux sous contraintes, comme par exemple les échanges de fumier dans des zones de forte densité animale ou dans des systèmes en agriculture biologique (Asai and Langer 2014).

La mise en collectif peut entraîner une perte d'autonomie à l'échelle de l'exploitation en faveur d'une autonomie collective. Ceci peut représenter un frein pour la mise en place d'une coopération.

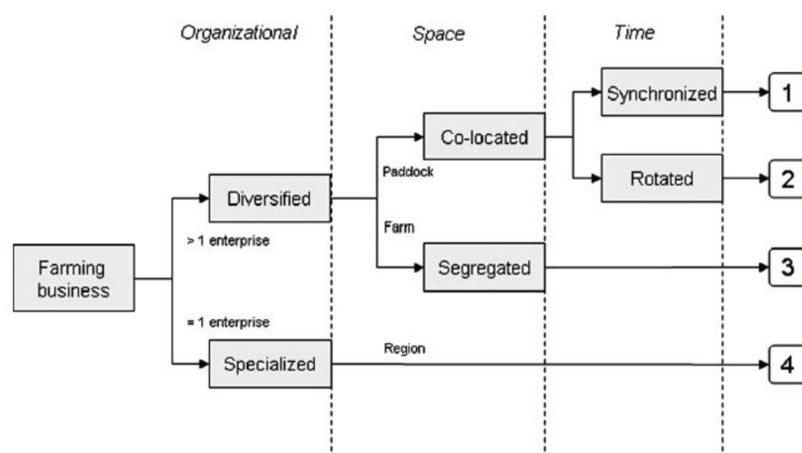


Figure 5: Schéma des imbrications permettant de décrire les pratiques d'intégration culture-élevage entre exploitations (Bell et Moore 2012)

Asai (2013) s'est intéressé lors de ses travaux de thèse, aux coopérations autour des échanges de fumier aux Pays-Bas. Selon ses études, les partenariats sont classifiés selon le degré de partenariat et les objectifs des partenaires. Il décrit trois aspects organisationnels qui encadrent les arrangements en termes d'export/import d'effluent : certaines exploitations ont des partenariats avec le voisinage, d'autres agissent à une plus longue distance. Il décrit tout d'abord les partenariats dits stables, avec une communication fréquente entre les membres (famille, voisin) qui collaborent sur plusieurs activités en plus de l'échange paille-fumier. Dans ce groupe 50 % des partenaires partagent leurs ressources en termes de main-d'œuvre ou d'équipement. Le second type de partenariat est décrit comme le partenariat dit « business » et fonctionne dans les exploitations de grandes surfaces pour lesquelles il est plus difficile de trouver un partenariat stable. En effet, Asai et al. (2014) et de Wit et al. (2006) montrent dans leurs études qu'un collectif de petite taille est favorable à une forte coopération qui sera basée sur la confiance entre les membres.

Finalement, il existe un certain nombre de cadres conceptuels permettant de caractériser le niveau d'imbrication entre les exploitations qui réalisent des interactions culture-élevage. On retrouve principalement deux dimensions d'imbrication, la dimension temporelle et spatiale.

Les différents termes et les concepts abordés montrent le besoin d'aller plus loin dans la notion de coopération et de voir les concepts développés dans d'autres domaines de recherche.

4.3. Une nouvelle notion : la coopération

Ces modes d'organisation d'intégration culture-élevage apportent une dimension sociale au-delà de la dimension technique. La coopération permet de former des **synergies** entre les différents éléments qui la composent pour l'accomplissement d'une action conjointe. Ces synergies apportent une valeur supplémentaire. Selon Schiere et Kater (2002) dans Ryschawy (2012) « le rendement de l'ensemble est plus important que le rendement des parties séparées ». Pour atteindre cette plus-value technique, il faut aussi comprendre les

comportements individuels des agents qui agissent et interagissent pour satisfaire leurs objectifs, il faudra aussi tenir compte des contraintes provenant des ressources plus ou moins limitées dont ils disposent et de leur compétences individuelles (Ferber 1995).

Selon la théorie de l'interdépendance des ressources, aucune organisation ne peut s'auto-suffire. Afin de répondre aux contraintes de l'environnement, elles doivent par conséquent, **interagir** avec leur environnement et les autres acteurs en présence. Ces **interactions** peuvent permettre le partage des risques et des pertes ainsi que le développement de nouvelles compétences (Benali 2005). En effet, dans la coopération, la viabilité de l'une des parties est renforcée par la viabilité de l'autre ou des autres (Ferber 1995).

Selon certains auteurs, la complémentarité entre des groupements d'exploitations agricoles permet d'exploiter la variabilité spatiale, ce qui entraîne une maximisation du profit pour chaque surface et par conséquent, une meilleure efficacité de l'allocation des ressources. Elle offre l'opportunité d'adapter l'allocation des ressources à un atelier ou à un autre en réponse aux fluctuations climatiques ou de prix. Elle peut, dans certains cas, permettre le maintien de la ressource comme par exemple l'insertion de prairies dans la rotation qui permet le maintien des stocks de matière organique et de la fertilité des sols (Franzluebbers et al. 2014).

Dans le cas où les ressources sont partagées, c'est la nature de la ressource qui définit le mode de coordination dans la coopération. Dans des relations de producteur/consommateur, comme il sera le cas dans notre étude, la notion de chronologie - de calendrier - est indispensable pour l'optimisation des flux entre offre et demande (Benali, 2005). On retrouve dans ces concepts, la spatialisation et la temporalité développées dans les cadres d'analyse de Moraine et al. (2014) et Sumberg (2003).

S'ajoute également la notion de **proximité**. La proximité géographique et relationnelle favorise l'émergence et le développement de coopération. Selon Pierre (2013), la coopération de proximité favorise l'émergence de coordination pour le recyclage de coproduits, comme par exemple dans le cas de l'alimentation du bétail ou le recours à la fertilisation organique.

D'autre part, les paramètres relationnels jouent un rôle primordial dans la réussite d'une coopération. Le facteur humain est un élément à ne pas négliger. Le pilotage d'un groupement ne peut être fondé uniquement sur des mécanismes contractuels. La confiance et les relations interpersonnelles apparaissent comme des facteurs essentiels dans le développement des relations inter-entreprises (Benali 2005). Selon Dyer (1997), la confiance augmente la facilité d'adaptation, et permet de réduire les coûts de transactions. Elle permettrait aussi d'augmenter la flexibilité et la réactivité organisationnelle. La dynamique de confiance dépend de la fréquence des contacts et des interactions ainsi que du degré d'engagement des partenaires, de l'engagement financier mutuel, mais aussi de la réputation des partenaires et la connaissance passée de l'autre. Selon Arrègle (1998), la taille du réseau et le nombre de partenaires influent également sur la dynamique de confiance entre organismes.

La similarité des subjectivités des partenaires, c'est-à-dire leur adhésion à des valeurs communes, et la vision d'un objectif commun, apparaît également comme un des déterminants dans la stabilité de la relation de coopération (Detchersahar 1997 dans Benali 2005). Après

avoir identifié et adopté un **but commun** (Ferber 1995), les agents coopèrent dans une action commune.

Cependant, la coopération demande des capacités organisationnelles spécifiques : organiser, gérer, coordonner et diriger un ensemble d'activités. Elles peuvent en faciliter ou freiner la réalisation (Arrègle et al. 1998).

De plus, toute interaction entraîne des coûts, aussi nommés **coûts de transaction**, pour la coordination des actions de chacun des agents, la recherche de compromis en fonction des contraintes individuelles et collectives, la négociation de contrats. L'objectif est de les minimiser (Benali, 2005). Nous verrons plus en détail l'origine de ces coûts et les leviers pour les réduire à partir d'exemple de coopération culture-élevage, dans le Chapitre 3.

D'autre part, la coopération n'est pas toujours signe d'efficacité dans l'utilisation de la ressource. Il a été montré que la Coopérative d'utilisation de matériel agricole CUMA, par exemple, ne permet pas nécessairement de réduire les charges de mécanisation. Charleuf (2018) a montré qu'il pouvait y avoir une sur-mécanisation des exploitations en CUMA qui doublent le matériel en propriété et en commun ou qui achètent du matériel plus puissant. Ceci entraîne une augmentation des charges de mécanisation. On observe une intensification de l'utilisation de la ressource, que l'on retrouve également dans l'étude de Regan et al. (2017). Dans cette dernière, les exploitations d'élevage qui délèguent l'élevage de leurs génisses profitent des surfaces et des ressources supplémentaires pour augmenter leur cheptel productif et donc intensifient leur système.

5. Quels compromis économiques, sociaux et environnementaux

Selon Marton et al. (2016), un système de polyculture-élevage est un système complexe où l'optimisation d'un atelier peut avoir un effet sur un autre atelier. La notion de compromis est donc tout particulièrement prégnante dans ces systèmes.

D'autre part, les interactions ou intégrations entre les activités de culture et d'élevage renvoient à certains principes de l'agroécologie ou de l'écologie industrielle et territoriale. L'**écologie industrielle** et **territoriale** correspond à l'étude des interactions des sociétés industrielles avec leur environnement, elle reprend les concepts de l'économie circulaire. C'est une réponse aux limites du fonctionnement linéaire de la société industrielle (Méda et al. 2015). Elle s'inspire du caractère cyclique des écosystèmes naturels. On retrouve parmi ces principes le bouclage des flux de matière et d'énergie.

L'**agroécologie** est un mouvement qui a émergé dans les années 80 (Altieri et al. 2002). Il consiste à stimuler les processus naturels pour réduire les intrants. Le but est de produire avec moins d'intrants chimiques tout en conservant les ressources avec une application à l'ensemble de la filière (Dumont et al. 2012).

Créer et favoriser des interactions entre culture et élevage, même à l'échelle de plusieurs exploitations agricoles, peut sous certaines conditions, permettre de jouer sur la diversité (Altieri et al. 2002) et sur l'hétérogénéité de l'utilisation des sols et de leurs composantes biotiques et abiotiques avec par exemple, l'ajout de prairies temporaires dans des assolements en céréale et oléo-protéagineux. Le bouclage des cycles des nutriments et d'énergie pour

minimiser les pertes et substituer les intrants chimiques par des intrants naturels, fait aussi partie des leviers de l'agroécologie. Ces leviers peuvent être enclenchés dans des coopérations de culture et élevage. Comme nous l'avons déjà évoqué la coordination des activités est primordiale pour optimiser la disposition en nutriment à la fois pour les végétaux et les animaux. Il est donc nécessaire d'avoir une synchronisation temporelle entre l'offre et la demande.

Quels outils peuvent permettre d'approcher ces concepts et de prendre en compte les compromis à la fois entre les ateliers et entre les dimensions économiques, sociales et environnementales ?

La limite actuelle des connaissances sur les interactions cultures-élevage à l'échelle de plusieurs exploitations invitent à se questionner sur leurs intérêts mais aussi sur les dimensions agronomiques, économiques que sociales et environnementales. Il existe un besoin de pouvoir quantifier les effets de ces interactions à l'échelle individuelle des exploitations pour estimer le bénéfice de travailler dans un ensemble en coopération, avec une notion de coopération gagnante-gagnante. Il apparaît aussi nécessaire d'analyser et de quantifier les coûts liés à l'organisation et à la logistique autour des coopérations. Comme nous avons pu le voir dans ce chapitre plusieurs modèles conceptuels existent déjà pour analyser les coopérations entre culture et élevage à l'échelle de plusieurs exploitations, mais peu d'analyses quantitatives sont pour le moment disponibles pour apporter des références sur les démarches.

Chapitre 2 :

Objectifs scientifiques et méthodologie générale

Chapitre 2 : Objectifs scientifiques et méthodologie générale

1. Hypothèse et objectifs de recherche

Les bénéfices de la PCE ont été démontrés à l'échelle des processus biochimiques, mais ne font pas toujours consensus à l'échelle de l'exploitation (Sneessens 2014, Veyssset et al., 2014, Ryschawy et al., 2012). De plus, seulement peu de connaissances ont été produites à l'échelle d'un groupe d'exploitations et du territoire. L'étude empirique de Regan et al. (2017), centrée sur plusieurs cas de coopérations en Europe - réalisée dans le cadre du projet cantogether - a montré une intensification de ces systèmes coopérants. L'intérêt des interactions culture-élevage à l'échelle de plusieurs exploitations agricoles ne va pas de soi et reste à être démontré.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'intérêt économique des échanges culture-élevage à l'échelle de plusieurs exploitations agricoles. Pour que les échanges soient faisables et pérennes sur le long terme, les agriculteurs doivent trouver un intérêt économique à ces derniers – sous l'hypothèse qu'ils aient une rationalité économique - et avoir une organisation qui rende possible la transaction. Il faut également que les acteurs de la coopération obtiennent un bénéfice réciproque, économique ou non. Ce bénéfice n'a pas besoin d'être identique entre les parties, mais il ne faut pas qu'une des parties se sente lésée.

Notre hypothèse est que l'intérêt économique est souvent sous-estimé du fait d'une sous-estimation des intérêts agronomiques de ces échanges. D'autre part, la mise en place de ces échanges, pourrait être facilitée par l'intervention d'une tierce entité comme une coopérative (Moraine 2015).

Par ce travail nous essayerons de répondre aux questions suivantes :

→ Quels sont les coûts de transactions liés aux échanges culture-élevage et quelles sont les stratégies des agriculteurs pour les réduire ?

Le cadre d'analyse tiré des théories économiques de coût de transactions (Williamson, 1985) peut être un outil efficace pour identifier les leviers mis en place par les agriculteurs pour réduire ces coûts.

→ Une coopération paille-fumier est-elle économiquement durable pour des exploitations spécialisées en grandes-cultures et en élevage bovin allaitant ? Apportent-elles des bénéfices réciproques, dans quelles conditions de prix et de gouvernance ?

Les échanges paille-fumier sont millénaires. Pourtant, il existe toujours un manque de référence dans certaines régions, pour aiguiller les agriculteurs sur des prix de vente et d'achat du fumier ou d'autres engrais de fermes et les barèmes proposées d'une région à l'autre sont très variables. Il existe, cependant des « calculettes » pour connaître la valeur de son fumier néanmoins, l'estimation de cette valeur est le plus souvent calculé à partir de la valeur fertilisante du fumier (sa composition en nutriments), mais très rarement sur la valeur amendante.

→ La mise en place d'une filière locale de foin de luzerne encadrée par une coopérative est-elle économiquement durable pour des exploitations en grandes-cultures de plaines et des

élevages laitiers de montagne ? Apportent-elles des bénéfices réciproques pour les agriculteurs, dans quelles conditions de prix ? Quel rôle peut jouer la coopérative dans cette coopération ?

La luzerne, pendant longtemps oublié regagne de l'intérêt auprès des éleveurs comme des céréaliers. Cependant, cette culture fourragère demande une certaine technicité pour la récolte et ne possède pas de marché organisé. L'implantation sur une période de minimum trois ans encourage des céréaliers à sécuriser leurs débouchés.

Axes de thèse

Dans le premier axe, nous développerons à l'aide de quatre exemples d'interactions culture-élevage à l'échelle de plusieurs exploitations, les différents coûts pour la mise en place et le maintien de ces interactions. Nous verrons également, les moyens mis en œuvre dans ces quatre démarches pour réduire les coûts et quels sont ceux qui sont les plus limitants dans les coopérations entre exploitations.

Dans le deuxième axe, nous établirons, à l'aide d'un modèle bioéconomique le prix d'intérêt du fumier dans un échange entre exploitations spécialisées. Cette démarche permet de mettre en place des pratiques plus vertueuses dans l'utilisation des ressources naturelles. L'échange paille-fumier est favorable au bouclage du cycle des nutriments et dans le rééquilibrage des stocks de matière organique dans les sols.

Dans un troisième axe, nous étudierons une filière de foin de luzerne avec le support d'un intermédiaire (coopérative), pour améliorer l'autonomie protéique à une échelle locale.

L'ensemble des échanges étudiés ont été monétarisés. Sur le terrain, les coopérations du type paille-fumier sont rarement monétarisés. Cependant, notre objectif est de fournir des références de prix, ou du moins des ordres de grandeur, sur l'intérêt économique de tels échanges. Ces références pourraient être utiles pour les acteurs du conseil qui souhaitent aiguiller des agriculteurs et des éleveurs cherchant à échanger de la paille et du fumier, et leur permettraient d'initier des négociations.

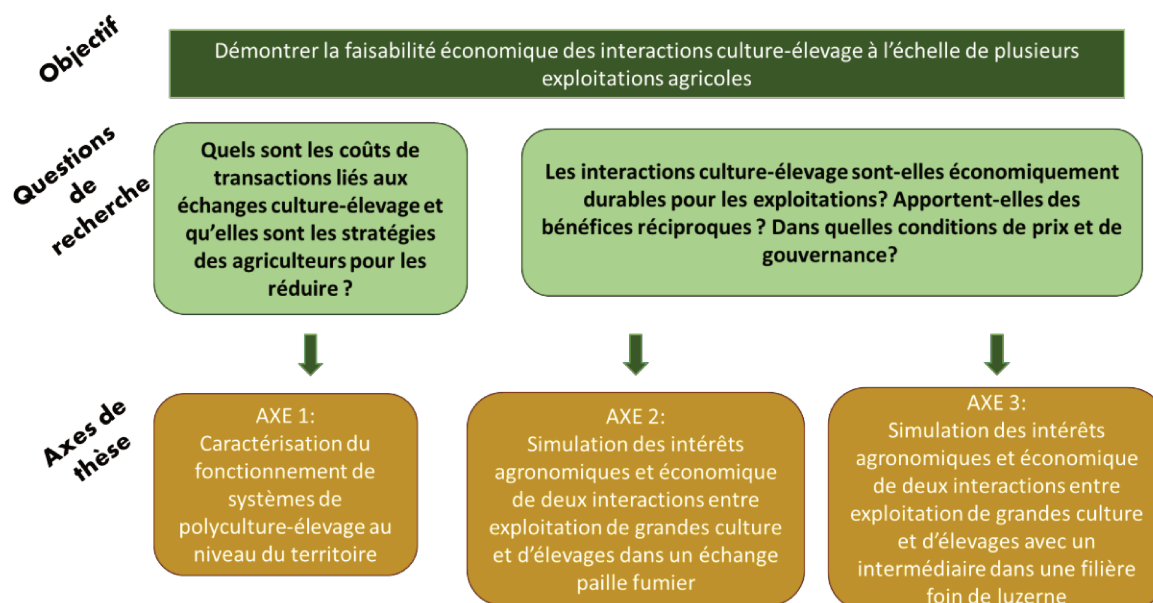


Figure 1: Schéma du cheminement de la thèse : des objectifs aux axes de thèse

2. Méthodologie

Dans cette partie nous détaillerons les approches méthodologiques générales de ce travail. Les méthodologies plus spécifiques à chacun des axes seront développées dans les chapitres suivants.

2.1. Un travail en interaction avec les acteurs du développement

2.1.1. Intérêt d'impliquer des acteurs du développement dans notre démarche

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un projet de recherche-action PSDR sur les régions Bourgogne-Franche Comté et Rhône-Alpes. Ces projets, PSDR Pour et Sur le Développement Régional ont pour vocation de faire interagir la recherche et les acteurs de terrain sur des questions relatives à des enjeux de territoire. Mon objectif était de travailler, avec des acteurs du développement sur les deux régions d'études. J'ai choisi d'interagir avec des acteurs du développement agricole pour avoir une vision globale des systèmes de production dans nos régions d'étude. Je voulais avoir leur ressenti et leur retour d'expérience sur les attentes des agriculteurs par rapport à notre problématique.

J'ai voulu impliquer les acteurs dans le choix, la description et la réflexion autour d'une interaction culture-élevage en formant des groupes de travail dans chacune des régions. Selon certains auteurs (Barreteau et al., 2010 vu dans Martin et al., 2013), il existe plusieurs niveaux de participation des acteurs. La participation peut d'abord être contractuelle, c'est-à-dire que les parties prenantes à l'origine de la problématique, n'interviennent qu'en support d'informations et de services aux chercheurs. Dans la consultation, le chercheur fait lui-même la conception mais consulte les acteurs et prend en compte des contraintes et des attentes terrains. La collaboration demande un degré de participation un peu plus élevé. Dans cette approche, les acteurs collaborent de manière plus active mais le chercheur garde la main sur le processus de conception. Enfin, le plus haut degré de participation est l'approche collégiale.

Dans cette dernière, tout le travail de la problématique jusqu'à la conception du système est réalisé de façon commune. Pour notre tâche, je devais garder le contrôle sur le processus de conception, cependant nous cherchions une participation maximum des acteurs.

2.1.2. Description des interventions auprès des acteurs à chaque étape de la thèse

Analyse des coûts de transaction

Une première série d'enquêtes téléphoniques auprès de vingt-cinq acteurs du développement de différents organismes (Chambre d'agriculture, coopératives, chambres consulaires bio et spécialisées en élevage, FDCUMA, lycée agricole) m'a permis de recenser les différents types d'interactions connus ou rencontrés sur les deux régions d'étude. Ces enquêtes m'ont aussi permis de récolter des contacts d'agriculteurs impliqués dans des interactions culture-élevage. A la suite de ces enquêtes, nous avons sélectionné quatre démarches d'intérêt. Nous cherchions des démarches encore peu étudiées, avec la capacité d'impulser un dynamisme local et se rapprochant de pratiques agroécologiques.

Pour chacune des quatre démarches, j'ai effectué des enquêtes semi-directives auprès des agriculteurs impliqués dans la démarche. Le détail des enquêtes et de la méthode d'analyse sera présenté dans le Chapitre 3.

Modélisation de deux démarches d'interaction culture-élevage

Pour le second axe de la thèse, nous avons travaillé sous forme d'ateliers, pour définir les interactions culture-élevage à modéliser. Durant les ateliers, les acteurs du développement ont pu argumenter sur les différents types d'interactions entre exploitations de grandes-cultures et d'élevage que nous avons pu répertorier ensemble. Une argumentation précise sur l'intérêt de l'interaction dans le contexte de production régionale et de sa faisabilité, nous a permis de cibler des interactions. Le compte rendu de chacun des entretiens se trouve en annexe (Annexes 1 et 2). J'ai ensuite arbitré sur la faisabilité technique de l'interaction, à savoir si cette dernière était facilement modélisable et s'il m'était possible de trouver des données pour construire des scénarios. Lors de ces ateliers, nous avons également pu caractériser les exploitations types qui pourraient interagir dans les interactions que nous avons ciblées pour notre étude.

Les acteurs de ces groupes de travail ont volontairement été choisis avec des profils les plus diversifiés possible : conseiller grandes-cultures, équipement, conseil en élevage, chambre consulaire ou coopérative.

Dans chacun des groupes un retour sur les premiers résultats de la modélisation a été fait pour les discuter et proposer des améliorations au modèle. De plus, dans le cadre du projet, les résultats ont été présentés chaque année aux acteurs partenaires du projet lors du séminaire annuel, là encore avec prise en compte des remarques et des réflexions pour l'amélioration du modèle ou le choix des indicateurs à retenir.

Une des démarches que nous voulions modéliser portait sur le foin de luzerne et les modes d'organisation et de distribution possibles pour cette interaction. En complément des groupes de travail, j'ai réalisé deux enquêtes semi-directives auprès de responsables d'une coopérative

partenaire du projet POEETE. Cette coopérative est à l'initiative des filières locales de tourteau de soja non OGM et foin de luzerne. Nous nous sommes inspirées de leur retour d'expérience sur la filière foin de luzerne pour orienter nos recherches.

2.2. Une approche par modélisation

« Tous les modèles sont faux, certains sont utiles » *Georges box*

Selon Janssen and Van Ittersum (2007), une ferme est une organisation complexe dans laquelle des aspects sociaux, économiques, agronomiques, environnementaux et institutionnels sont intégrés et interdépendants les uns des autres. Il est difficile de pouvoir prendre en compte tous ces aspects dans leur globalité sans l'utilisation de modèles. Le modèle est une représentation simplifiée de la réalité permettant de répondre à une question (Nettier 2016). C'est une représentation partisane (Boulet 1999) plus explicite, plus simple et plus facile à manipuler (Ferber 1997). La modélisation est donc une démarche privilégiée dans les approches systémiques. Elle permet de rendre compte de la complexité des systèmes et des interactions entre les éléments qui le structurent (Legay 1997).

L'intérêt de la modélisation par rapport à une observation en ferme commerciale par exemple est que tout le processus de production est contrôlé (Rossing et al. 1997 vu dans Sneessens 2014 ; Sterk et al. 2007). Cette méthode permet d'isoler l'effet des interactions culture-élevage de l'effet du contexte de production. Elle est également plus rapide et moins coûteuse qu'une expérimentation système même si elle nécessite l'obtention de données observées pour construire, paramétrer et valider le modèle.

2.2.1. Etat de l'art sur les modèles bioéconomiques

D'après Delmotte et al. (2013) un modèle bioéconomique est un modèle économique avec des composantes biophysiques. Ces modèles se sont développés surtout à partir des années 1970 (Flichman & Jacquet 2003). La composante économique comporte le plus souvent une optimisation qui se traduit souvent par la recherche d'une gestion des activités agricoles qui maximise une fonction objective (souvent basée sur le profit) sous différentes contraintes qui limitent les possibilités permises par les environnements biophysiques, économiques et techniques dans lesquels la ferme évolue (Romera et al. 2017). Ce type de modèle permet une évaluation ex-ante des innovations technologiques (par exemple l'introduction d'un nouvel atelier de production dans une ferme) ou politiques dans différents contextes (Janssen and van Ittersum, 2007). Il peut également permettre de simuler l'impact de l'introduction d'une nouvelle technologie

Il avait également été envisagé d'utiliser d'autres types de modèles tels que les modèles multi-agents ou les « land use models ». Un modèle multi-agents permet une représentation des interactions entre les agents pour le partage des ressources naturelles, sachant que chaque agent a ses propres objectifs et comportements. Ce type de modèle intervient à un niveau postérieur à ce que l'on souhaite étudier. Nous souhaitons d'abord déterminer l'intérêt du partage et de l'échange des ressources entre deux agents sans prendre en compte immédiatement les jeux d'acteur autour de cet échange, chaque agent souhaitant optimiser son propre profit. Les « land use models » permettent de travailler à différentes échelles et

notamment à l'échelle régionale, voire mondiale (Havlík *et al.* 2014) . Ce sont des outils utiles pour travailler sur une gestion intégrée de l'environnement (Verburg *et al.*, 2002). En revanche, dans ces modèles, l'entité exploitation n'est pas représentée, ce qui ne permet pas d'analyser les implications des échanges pour chaque type de ferme.

Notre objectif est de faire une évaluation économique et agronomique des interactions entre exploitations de grandes cultures et exploitations d'élevage, et d'estimer le prix d'intérêt de marchandises. Notre choix s'est donc tourné sur un modèle bioéconomique.

Représentation de la durabilité d'un système complexe avec des interactions entre les activités de culture et d'élevage

Un système complexe est constitué d'éléments en interaction, c'est-à-dire avec des relations de rétroaction composée de plusieurs niveaux, avec un comportement dynamique et une capacité d'évolution dans le temps. Comme nous l'avons décrit dans le chapitre précédant les interactions cultures-élevage peuvent avoir de nombreux effets positifs sur les systèmes de production. Dans le schéma suivant (Figure 2), nous reprenons une partie de ces effets.

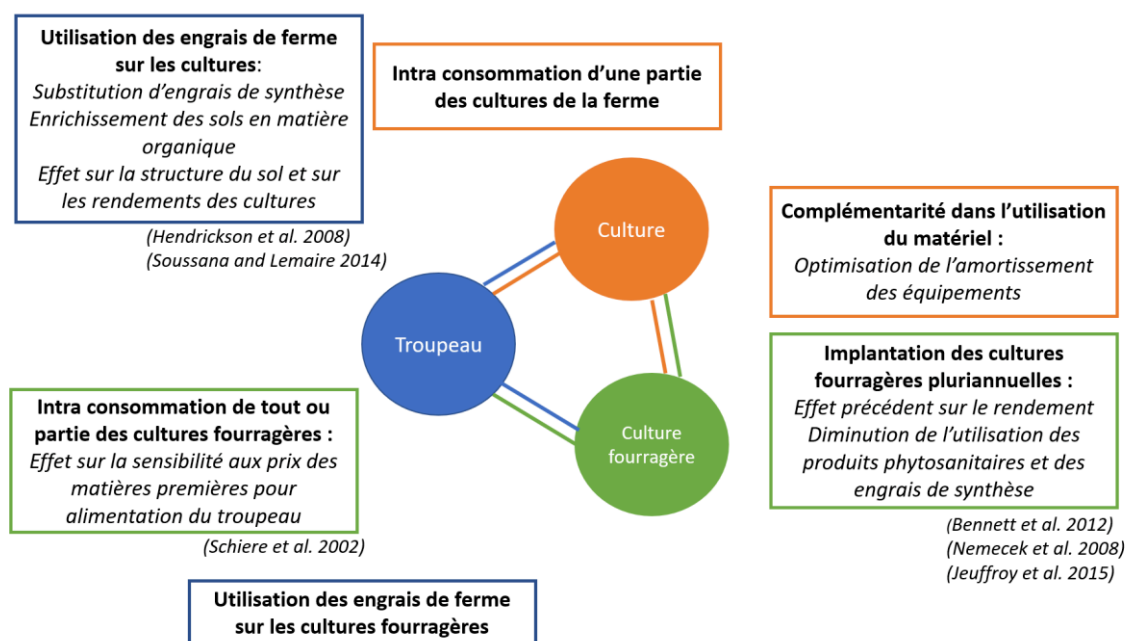


Figure 2: Schéma des interactions culture-élevage et de certains de leurs effets

Il existe aujourd'hui un certain nombre de modèles permettant de représenter les interactions culture-élevage au sein d'une exploitation. Tous les modèles de polyculture élevage prennent en compte les trois activités - élevage, grandes-cultures et cultures fourragères - avec des interactions entre elles. Les principales interactions prises en compte sont les transferts des cultures et cultures fourragères vers l'élevage pour l'alimentation animale, les engrais de ferme ou le travail. Cependant, tous les modèles ne permettent pas en compte les effets sous-jacents à ces interactions ou seulement de façon partielle. Par exemple, dans la plupart des modèles, la gestion des déjections animales n'est souvent représentée que par des flux d'azote d'un module à l'autre mais sans prendre en compte leur répercussion sur les autres composantes du système (arrière-effet, substitution en engrais de synthèse, etc.).

Le modèle FSSIM (Farm System SIMulator) est un modèle d'optimisation économique à l'échelle de l'exploitation (Louhichi et al. 2010). Le modèle décrit de façon explicite le lien entre les cultures et l'élevage pour les transferts d'aliments produits sur la ferme vers le troupeau. En revanche, la gestion des effluents n'est pas décrite. Le modèle associé à un autre module Agricultural Production Externalities Simulator (APES) (Jassen et al. 2009) permet de quantifier les externalités des activités de culture. Dans ces activités il n'est fait mention que d'activités directement liées aux cultures, comme l'introduction d'une nouvelle culture ou de rotation ou encore l'utilisation d'équipement plus performants mais pas d'utilisation des déjections animales. Dans le modèle de simulation IFSM (Integrated Farm System Model) (Rotz et al. 2012), les cultures récoltées (grain, grain humide, foin et ensilage) peuvent être intra consommées. Ce modèle décrit également un ensemble de contraintes pour la gestion des déjections animales. Ces dernières peuvent être utilisées sur l'exploitation, importées ou exportées sous la contrainte d'un bilan en nutriments à l'équilibre. Seule la valeur en nutriments (azote, potassium phosphore) est prise en compte, mais les processus de perte au cours du transport, du stockage et de l'épandage sont explicitement décrit.

Dans le modèle Dynamic North Florida Dairy (Cabrera et al. 2005), la gestion des déjections animales est représentée par le suivi des flux d'azote du module animal vers de module végétal en prenant en compte toutes les pertes aux différentes étapes (stockage, épandage). Le modèle prend en compte la substitution en engrais de synthèse permise par les applications de déjections animales. Ce modèle représente également les intra-consommations de fourrages.

Sheep'n'Crop (Sneessens 2014), est un modèle d'optimisation sous contraintes permettant l'évaluation de la durabilité des systèmes de polyculture-élevage (exploitation de polyculture-élevage avec ovin viande). Il modélise les transferts d'alimentation animale et l'utilisation des déjections animales sur les cultures (flux d'azote d'un atelier à l'autre). La contrainte de besoin en main d'œuvre est commune aux deux activités.

Le modèle ORFEE représente également les liens d'intra-consommation des cultures (céréales et oléo protéagineux cultivés) et cultures fourragères (Mosnier et al. 2017). Il représente également le transfert des déjections animales sous forme de nutriments (azote, potassium et phosphore) sur les surfaces en cultures. Cette pratique a une répercussion sur le gain économique d'une substitution en engrais de synthèse. Il prend également en compte l'ensemble du matériel nécessaire pour le chargement, le stockage et l'épandage des déjections.

La prise en compte de la temporalité

Dans une exploitation agricole, les choix et actions de l'agriculteur ont un effet sur les années suivantes, les investissements en matériel ou bâtiments d'élevage par exemple. Il existe deux grands types de modèle pour la prise en compte du temps. Les modèles statiques représentent l'exploitation en année de croisière. Ils ne prennent pas en compte les aspects dynamiques des investissements mais permettent de travailler sur un système à l'équilibre. Ces modèles peuvent comporter des sous-périodes mais les valeurs d'une sous-période donnée ne sont pas liées à la sous-période précédente. Le modèle ORFEE, par exemple, est un modèle statique avec

un pas de temps mensuel (Mosnier et al. 2017). SYNERGY est également un modèle statique (Jouan et al. 2018).

Les modèles dynamiques permettent d'analyser les effets cumulatifs de certaines décisions comme les stocks de fourrage (Mosnier et al. 2009), l'effet des pratiques sur la fertilité des sols ou le stockage du carbone. Ils permettent également d'analyser les trajectoires de transition entre deux systèmes de croisières. Parmi les modèles dynamiques, les modèles récursifs optimisent le système sur une année et se répètent sur les années suivantes en prenant compte des résultats de l'optimisation de l'année n-1 (Louhichi et al. 1999). Les modèles multi-périodiques optimisent le système sur une période donnée qui représente un horizon de planification. FARMDYN est un modèle dynamique multi-périodique, il tient compte des décisions en matière d'investissement et de main d'œuvre avec une optimisation sur un horizon de planification annuel (Lenger et al. 2014 ; Mosnier et al. 2019). Le modèle Dynamic North Florida Dairy, est comme son nom l'indique un autre modèle dynamique avec un pas de temps mensuel (Cabrera et al. 2005).

La représentation de la prise de décision

Parmi les modèles bioéconomiques décrit par Janssen et Van Ittersum (2007) plusieurs éléments sont caractéristiques du fonctionnement de ce type de modèle. La prise de décision est motivée par les multiples objectifs de l'agriculteur, parfois en conflit les uns avec les autres. La maximisation du profit en fait partie (Mc Cown 2001). Les modèles bioéconomiques s'appuient sur l'hypothèse de rationalité économique, ils optimisent l'utilité du profit. La fonction d'utilité peut prendre en compte la distribution des profits dans le temps et par rapport aux aléas. Janssen et Van Ittersum (2007) ont répertorié plusieurs types de fonctions : la maximisation du profit seulement, la maximisation du profit et la minimisation des risques, qui peuvent se représenter dans l'équation suivante :

$$Max \mu = e - \emptyset \lambda \quad (1)$$

avec μ = la fonction objective, e le revenu, $\emptyset$ le coefficient d'aversion au risque et λ la variance du revenu. Cette forme de fonction objective est par exemple utilisée dans le modèle ORFEE (Mosnier et al. 2017). Le risque, autre élément caractéristique, peut être ou non pris en compte selon les modèles. La prise en compte du risque offre un « contrôle » sur la prise de décision (Dorwarld, 1999). D'autres modèles maximisent le risque et minimisent d'autres variables comme les émissions de gaz à effet de serre comme dans le modèle FARMDYN par exemple (Lenger et al. 2014).

Dans certains modèles la fonction objective peut aussi être basée sur un ensemble d'objectifs, c'est le cas des modèles Landscape IMAGES (Groot et al. 2010) et Farm Design (Groot et al. 2012). Un exemple d'équation de ces modèles est (Groot et al. 2007) :

$$Max U(x) = (U_1(x), U_2(x), ..., U_k(x))^t \quad (2)$$

où U représente les différents objectifs avec :

$$x = (x_1, x_2, ..., x_n)^t \quad (3)$$

les activités par unité spatiale sont définies dans l'équation 3 et par contextes pédoclimatiques t. Dans cette étude, il y a quatre objectifs dont la maximisation de la marge brute, la minimisation des pertes en nutriments, la maximisation de la biodiversité des champs et bordures, et la maximisation de la diversité culturelle. Ces objectifs sont maximisés ou minimisés sous un ensemble de contraintes.

La prise en compte du risque

L'agriculture est une activité risquée. Pour modéliser le comportement des agriculteurs face au risque il faut d'abord identifier les sources de risque. En agriculture, il existe cinq types de risques : les risques climatiques et sanitaires, qui affectent le rendement et la qualité des produits, le risque de prix ou de marchés lié aux fluctuations des prix, les risques institutionnels, les risques financiers, et les risques humains et professionnels (Cordier et al., 2008). Il faut également prendre en compte les perceptions et l'attitude de l'agriculteur face au risque pour comprendre les décisions qu'il prendra face à ce dernier. Un agriculteur qui aura de l'aversion pour les risques sera alors prêts à réduire son profit moyen pour éviter des revenus très faibles ou une variabilité du revenu élevé. Cela peut se traduire en modélisation bioéconomique, par une fonction d'utilité, comme la fonction puissance, qui incite à davantage augmenter les niveaux de profits faibles que les niveaux de profit élevés (Mosnier *et al.* 2009). Dans les modèles linéaires cela peut également se traduire par une fonction multi-objectifs : le profit moyen pénalisé par les revenus qui se trouvent en deçà d'un revenu minimum (Taget Motad), ou le profit moyen pénalisé par l'écart type du profit (modèle espérance-variance de Markovitz-Freund). Dans ORFEE le risque peut être pris en compte de deux manières différentes (un objectif de revenu minimum ou d'une faible variabilité de revenu). Le seuil du revenu minimum a été défini à deux SMIC multiplié par un coefficient d'aversion au risque $\emptyset$ comme dans l'équation 1. Dans SYNERGY l'aversion au risque est liée à la variabilité des revenus (Jouan et al., 2018).

L'échelle d'optimisation

Tous les modèles bioéconomiques déjà abordés sont des modèles d'optimisation à l'échelle de l'exploitation agricole. Seul un modèle SYNERGY, effectue un changement d'échelle de l'exploitation à une agrégation régionale. Le modèle SYNERGY maximise la somme de l'utilité des revenus espérés, au niveau régional. $E(U)$ est la somme des revenus espérés $R_{f,s}$, de chaque type d'exploitations dans un territoire donné, pénalisée par la somme des variations positives et négatives de ces revenus. Cette fonction permet de faire une optimisation sur un ensemble d'exploitation tout en gardant une équité de revenu puisqu'il pondère la distribution des revenus.

Il existe d'autres types de modèle permettant de modéliser les interactions culture élevage à une échelle supra-exploitation comme le modèle DYNAMIX (Ryschawy et al. 2017). DYNAMIX est un jeu sérieux permettant la participation des agriculteurs. Ce modèle calcul un bilan offre demande entre les exploitations et permet d'évaluer la durabilité de l'échange. En revanche, il n'optimise pas le fonctionnement des exploitations et les résultats obtenus sont très dépendants du contexte des exploitations modélisées.

Spécificité des modèles

Le principe des modèles bioéconomiques est qu'ils puissent être réutilisés dans des contextes différents avec des systèmes de production différents. Les modèles facilement transférables sont appelés modèles génériques. Selon Janssen et Van Ittersum (2007), il n'existe pas de preuves dans la littérature mettant en évidence le transfert d'un modèle dans différentes localisations et pour différents types de ferme. Ce que cela signifie, c'est qu'un modèle peut toujours être adapté. Cependant, un modèle sert généralement à répondre à une question précise, et toutes utilisations nouvelles demanderont de nouveaux paramétrages. L'intérêt sera donc d'utiliser un modèle déjà adapté au contexte et à l'objectif de notre étude pour réduire le temps de paramétrage. Le modèle FSSIM (Farm System SIMulator) a pour vocation d'évaluer des scénarios concernant l'impact de la politique sur les exploitations. Il a pour objet d'étude la multifonctionnalité des systèmes agricoles avec comme composantes principales des activités de culture, d'élevage ainsi que des modules de réglementation et d'incitations politiques (Louhichi et al. 2010). Le modèle North Florida Dairy représente la durabilité économique et environnementale des exploitations laitières du Nord de la Floride en cherchant à maximiser le revenu de l'exploitation tout en limitant les pertes en azote du système. Ce modèle est composé de sept modules dont un module troupeau, fourrages et cultures (Cabrera et al. 2005). Le modèle ORFEE est un modèle plus générique puisqu'il permet de représenter plusieurs types d'élevages de ruminants (bovins laitier et allaitant, ovin allaitant) sur sept zones climatiques et topographiques françaises (Mosnier et al. 2019). SYNERGY teste des scénarios sur l'autonomie protéique à une échelle régionale en jouant sur les complémentarités entre exploitations de grandes-cultures et d'élevage (bovins et porcins) en région Bretagne (Jouan et al. 2018).

Tableau 1: Synthèse des modèles bioéconomique représentant des systèmes agricole avec activité de culture et d'élevage

Nom du modèle	Type de modèle	Objet de l'étude	Composantes du modèle	Cadre d'analyse	Interactions culture-élevage
FSSIM (Louhichi et al. 2010)	Optimisation économique	Multifonctionnalité des systèmes agricole	Culture, élevage, réglementation et incitation politique	Exploitation	Alimentation animale
North Florida Dairy (Cabrera et al. 2005)	Optimisation économique	Durabilité économique et environnementale	Pilotage, troupeau, déchets, fourrage, culture, économie, climat	Exploitation	Alimentation animale, Gestion des déjections, substitution engrais artificiel
Landscape IMAGES (Groot et al. 2007)	Optimisation multi-objectifs	Compromis entre rentabilité et environnement	Pédoclimatique, culture, élevage, pratiques culturales	Paysage	Alimentation animale, Impact du pâturage
Farm Design (Groot et al. 2012)	Optimisation multi-objectifs	Durabilités économique et environnementale	Culture, élevage, effluent, équipement,	Exploitation	Alimentation animale,

			contexte pédoclimatique		Gestion des déjections (minéraux et matière organique)
Sheep'n'crop (Sneessens 2014)	Optimisation économique	Diversification des systèmes de PCE	Culture, élevage, prairie	Exploitation	Alimentation animale, gestion des effluents, travail
ORFFE (Mosnier et al. 2017)	Optimisation économique	Durabilité des systèmes diversifiés	Élevage, culture, travail, équipement	Exploitation	Alimentation animale, gestion des effluents, substitution engrais artificiel travail, équipement
FARMDYN (Lengers et al. 2014)	Optimisation économique	Durabilités économique et environnementale	Élevage, culture, travail, équipement	Exploitation	Alimentation animale, gestion des effluents
DYNAMIX (Ryschawy et al. 2017)	Bilan annuel offre/deman de	Conception et évaluation de systèmes polyculture- élevage au niveau local	Culture, élevage, effluent, équipement, contexte pédoclimatique	Plusieurs exploitations	Alimentation animale, gestion des effluents
SYNERGY (Jouan et al. 2018)	Optimisation économique	Evaluation de l'autonomie protéique régionale	Culture, élevage, effluent	Régional	Alimentation animale, gestion des effluents
IFSM (Rotz et al. 2012)	Simulation économique	Durabilités économique et environnementale	Culture, élevage, effluent, équipement, contexte pédoclimatique	Exploitation	Alimentation animale, gestion des effluents
IDEA (Romera et al. 2017)	Optimisation économique	Identification des stratégies d'alimentation du troupeau	Système fourrager, élevage, environnement	Exploitation	Alimentation animale, gestion des effluents

Comme nous venons de le voir, il existe un certain nombre de modèles représentant la durabilité économique et environnementale d'un système agricole avec à la fois des composantes : élevage et culture (synthèse Tableau 1). Nous avons choisi de travailler avec le modèle ORFEE pour le reste de cette étude. Ce modèle est déjà calibré sur des systèmes de polyculture-élevage français. Il prend en compte l'intra consommation des cultures, l'utilisation des déjections animales pour la fertilisation des cultures, le partage de matériel et de la main

d'œuvre entre les ateliers. Il est déjà paramétré sur plusieurs contextes pédoclimatiques et sur une diversité d'espèces animales et de cultures. Ce qui nous assure une cohérence entre les différentes interactions préétablies dans le modèle et des besoins en nouveaux paramétrages relativement limités.

2.3. Adaptation du modèle à la question de recherche

2.3.1. Description globale du modèle

Le modèle utilisé pour cette étude est le modèle ORFEE (Opimization of Ruminant Farm for Economic and Environmental assessment) (Mosnier et al. 2017). C'est un modèle bioéconomique, élaboré pour explorer le fonctionnement de systèmes associant culture et élevage. Il permet de représenter des exploitations en polyculture-élevage avec un ou plusieurs ateliers de ruminants (bovin viande, bovin lait, ovin viande) ainsi qu'un atelier végétal de cultures de céréales et oléo-protéagineux et de prairies. Ce modèle permet de représenter un large choix de pratiques et d'intégration comme les rotations culturales, la fertilisation organique, l'alimentation des animaux ou encore les objectifs de production (Figure 3). Le modèle optimise le système de production permettant de maximiser le revenu net sur plusieurs années en tenant compte des variabilités des politiques publics et du marché, à l'échelle de l'exploitation agricole.

Il maximise une fonction objective de type Espérance-Variance Markovitz-Freund (Hardaker et al. 2004), dans laquelle l'espérance est le résultat courant net moyen de toutes les années de simulations. Le résultat courant correspond à l'ensemble des ventes de produits animaux et végétaux auxquels on ajoute les subventions publiques et on soustrait les charges opérationnelles, les charges de structures ainsi que les charges d'amortissements et les frais financiers. C'est un indicateur pertinent pour mesurer la rentabilité et l'efficacité d'une exploitation.

L'optimisation du résultat courant se fait sous un certain nombre de contraintes. Le modèle prend entre autres en compte : l'alimentation des animaux, la démographie du troupeau, les opérations culturales, la mécanisation, les politiques publiques, les successions culturales et les activités culturales. Les besoins en main-d'œuvre sont calculés en fonction des tâches assignées à chaque production (alimentation, traite, surveillance, opérations culturales en fonction des saisons). La SAU est fixée mais il est possible de faire varier l'utilisation des surfaces.

Le modèle est codé sous le logiciel GAMS (General Algébric Modeling system (Mc Carl et al. 2004)). Ce logiciel permet la description de systèmes complexes, c'est un outil pertinent pour résoudre des problèmes d'optimisation. De plus, il offre la possibilité d'adapter finement le modèle de base à nos questions de recherche.

2.3.2. Adaptations

Dans cette étude, le modèle ORFEE a été adapté pour chacune des démarches étudiées. Afin de simuler les effets de l'application du fumier dans le but estimer son prix d'intérêt dans une exploitation de grandes-cultures et une exploitation d'élevage, nous avons tout d'abord ajouté la possibilité au modèle de vendre et acheter du fumier. La composition du fumier de bovin était préalablement paramétrée dans le modèle et relié au module troupeau. Nous avons

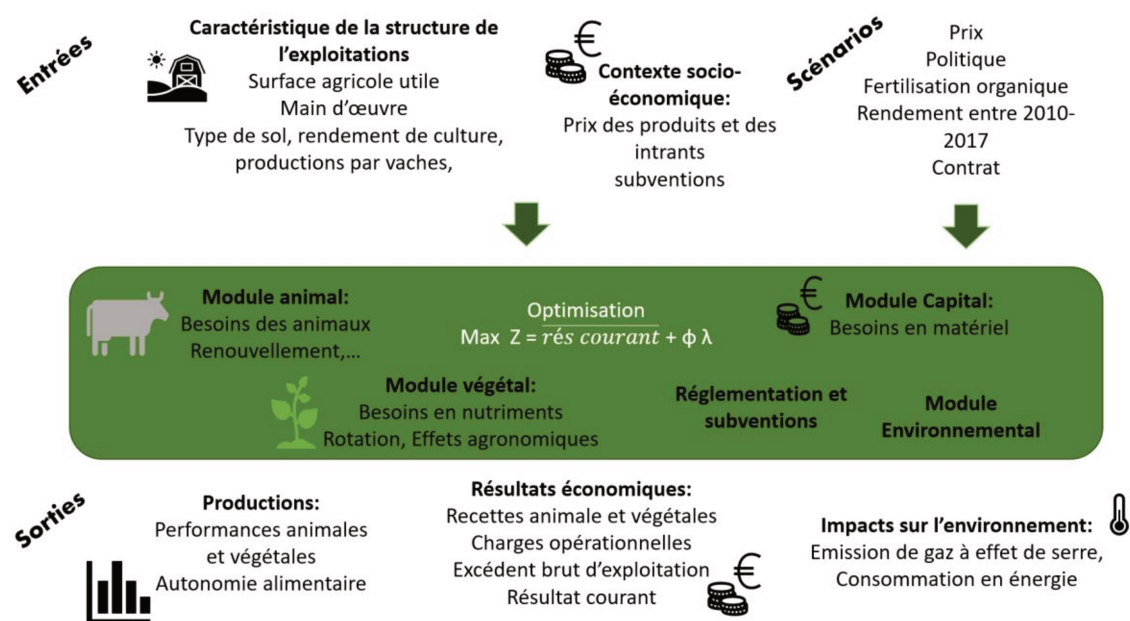
également ajouté des contraintes sur la fertilisation organique et minérale au module de fertilisation. Selon celles-ci, le modèle doit épandre une quantité minimum de fumier à une fréquence donnée qui sont définis en fonction de chaque scénario. La quantité de fumier apportée doit correspondre aux besoins en azote des cultures, multipliés par la part d'engrais organique que l'on divise alors par la quantité d'azote mobilisable par la plante (azote présent dans le fumier multiplié par son taux de minéralisation). L'équation de fertilisation azotée a été divisée en deux pour une part organique et une part minérale. Grâce à ces nouvelles contraintes nous avons pu décliner plusieurs scénarios et ainsi comparer l'effet d'une application répétée de fumier sur le taux de minéralisations de l'humus.

Initialement le modèle est statique, c'est-à-dire qu'il optimise le système de production pour l'ensemble des années de simulations sans prendre en compte les changements annuels de façon explicite. Il fonctionne tout de même sur un pas de temps mensuel, et certaines équations du modèle permettaient déjà de prendre en compte l'effet précédent-suivants des cultures. Les besoins en main d'œuvre et en équipement sont également conditionnés selon des activités spécifiques à chaque mois. Dans le troisième axe de thèse, nous voulions tester l'intérêt de l'implantation et l'achat de foin de luzerne comme levier face à des aléas de prix et de rendements. Nous voulions augmenter les sources d'incertitude dans le modèle. Nous avons donc ajouté une variabilité interannuelle pour le rendement des cultures. Nous avons également mis en place une variation des stocks de foin. Pour cela, nous avons fait évoluer la contrainte des ressources alimentaires disponibles pour le troupeau. Selon cette contrainte, (Equation 4) la somme des besoins -hors herbe pâturée et paille - (bes) multiplié par le nombre de jours (j) et les pertes à l'auge ($perte$) doivent être égale à la quantité d'aliments produits (hors herbe pâturée et paille) ($alim_{prod}$) additionnés aux achats ($alim_{achat}$) et soustraits aux ventes ($alim_{vente}$) auxquels on ajoute la variation de stock (Var_{stock}). Cette dernière peut être positive ou négative.

Ressources alimentaire (année simulée) :

$$\sum bes \times j \times perte = alim_{prod} + alim_{achat} - alim_{vente} + Var_{stock} \quad (4)$$

Le reste des adaptations effectuées dans le modèle est présenté dans les Chapitre 3 et 4.



Avec Z la fonction objectif, du résultat courant moyen $r_{\text{rés courant}}$, ϕ le coefficient d'aversion au risque et λ la variance du résultat courant.

Figure 3 : Schéma du fonctionnement du modèle ORFEE adapté de (Mosnier et al., 2017)

3. Matériel

3.1. Deux zones d'études

3.1.1. Région Bourgogne Franche-Comté

La Bourgogne Franche-Comté fait partie des nouvelles régions du redécoupage territorial de 2015. Elle compte en 2018 une population de 2,8 millions d'habitants, répartis dans ses sept départements (Côte-d'Or, Doubs, Jura, Nièvre, Haute-Saône, Saône et Loire, Yonne, et le territoire de Belfort). Le territoire est recouvert pour 27% de terres arables, 25% de surfaces toujours en herbe, 37% de bois et forêts et 11% des surfaces réservées aux autres usages.

La Bourgogne Franche-Comté comptait en 2016, 26 404 exploitations agricoles avec une SAU moyenne régionale de 119 ha (Agreste 2018). Les quatre grandes orientations technico-économiques des exploitations de la région sont l'élevage de bovins allaitant et laitier, les grandes cultures et la viticulture. Les exploitations sont concentrées en zones de production pour chacune de ces orientations comme on peut le voir sur la carte (Figure 4). Cette carte représente l'orientation technico-économique de chacune des communes de la région. Elle montre une concentration des élevages dans le quart Sud-Ouest (Saône-et-Loire et Nièvre) et l'Est de la région. Ces deux bassins de production correspondent d'une part au bassin charolais en vert clair sur la carte avec une forte concentration d'élevage en bovin allaitant et d'autre part aux élevages bovins laitiers de montagne représentés en vert foncé.

Le quart Nord-Ouest est dominé par des exploitations spécialisées en grandes cultures des départements de l'Yonne et d'une partie de la Côte-d'Or en jaune sur la carte. Les zones viticoles plutôt localisées selon un axe nord-sud sont représentées en violet sur la carte.

On rencontre sur ce territoire un certain nombre de productions sous signe de qualité. La Bourgogne Franche-Comté compte neuf appellations d'origine contrôlées pour des fromages

au lait de vache (Bleu de Gex, Brie de Meaux, Brie de Melun, Chaource, Comté, Epoisses, Langres, Mont Dor et Morbier), trois pour le lait de chèvre (Charolais, Chavignol, Mâconnais) et une appellation beurre et crème de Bresse. Elle compte également deux appellations pour la production de viande (AOP Bœuf de Charolles et Volailles et dindes de Bresse), sans parler des nombreuses appellations viticoles très réputées. Le nombre d'exploitations en agriculture biologique est en constante augmentation depuis les années 2000 avec un total, en 2017, de 143 000 ha convertis ou en conversion pour toutes les productions confondues (Agreste 2018).

Dans le Chapitre 4, nous nous intéresserons plus particulièrement au département de la Saône-et-Loire. Ce territoire est intéressant dans notre étude pour ses zones intermédiaires de polycultures poly-élevages qui offrent un rapprochement géographique des exploitations de grandes-cultures et d'élevages. Cette proximité géographique est un élément favorable à la mise en place d'interactions et de coopérations. Le découpage du département peut être schématiquement réalisé avec la zone d'élevage bovin allaitant (à l'ouest) et la zone comprenant en majorité les OTEX grandes-cultures et polycultures poly-élevage (à l'est), séparées par une zone viticole.

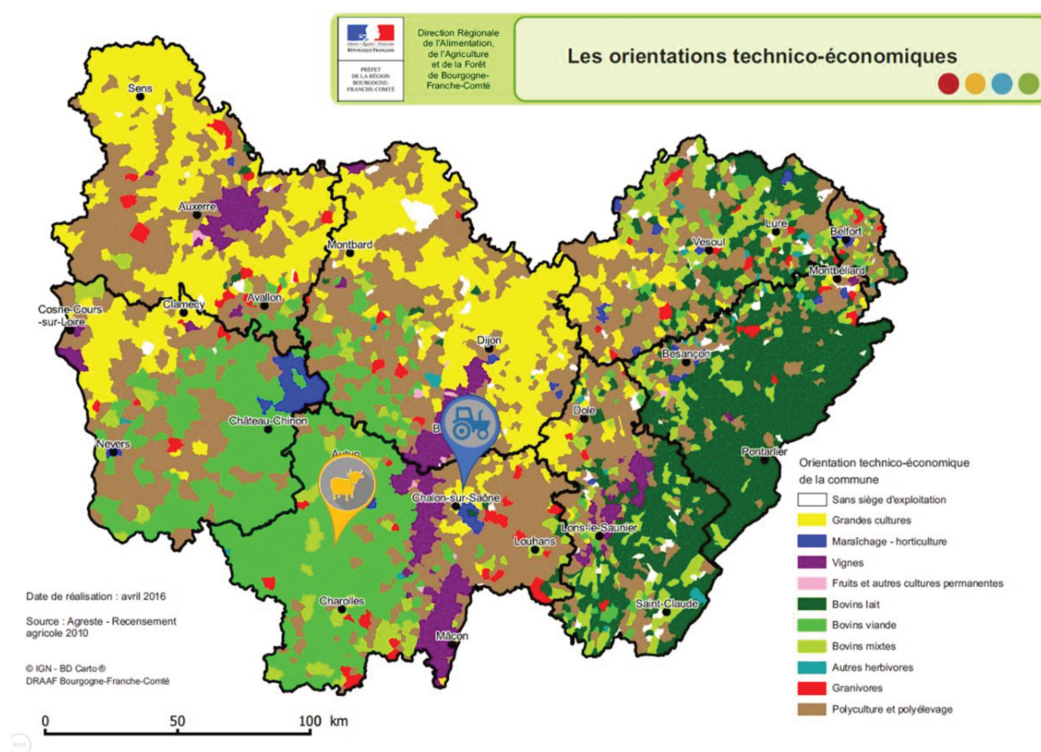


Figure 4: Carte des OTEX par commune de la région Bourgogne Franche-Comté

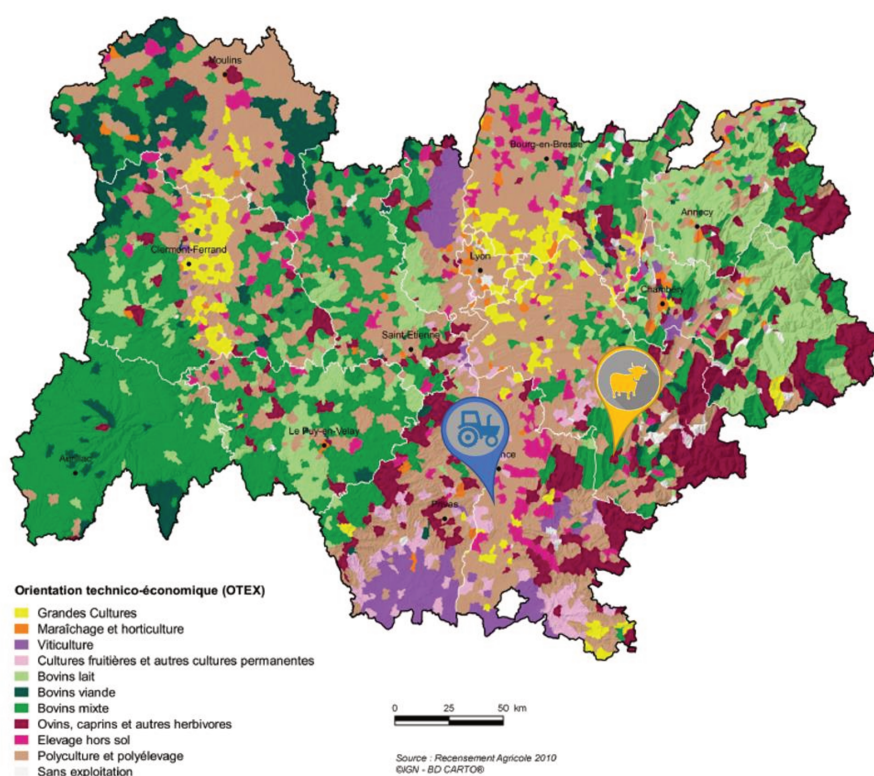
3.1.2. Région Rhône-Alpes

Notre seconde zone d'étude la région Rhône-Alpes fait aujourd'hui partie de la nouvelle région Auvergne-Rhône-Alpes. Certains des chiffres présentés par la suite font référence à l'ancienne région Rhône-Alpes (RA) quand cela est possible et d'autres font référence à la nouvelle région (ARA). L'ancienne région RA compte 4,6 millions d'habitants en 2018 répartis dans 7 départements (Ain, Ardèche, Isère, Loire, Rhône, Savoie et Haute-Savoie).

Le territoire ARA comporte 43% de surfaces agricoles, 37% de surfaces boisées et le reste en surface artificialisée et autres surfaces. La surface agricole est constituée pour plus de la moitié de surface toujours en herbe, 3% en culture permanente et 42% en terres arables. L'orientation technico-économique dominante dans cette région est par conséquent l'élevage avec 56% des exploitations. Cependant, on observe un recul de l'élevage au profit des grandes cultures qui représentent 32% des exploitations et 12% restent en polyculture poly-élevage (Agreste 2019).

Les exploitations en Rhône-Alpes ont une forte stratégie de différenciation avec un grand nombre de productions sous signes de qualité. Dans sa nouvelle configuration avec l'Auvergne, la région ne compte pas moins de 189 productions sous indication géographique et label rouge (Agreste 2019) dont 12 fromages au lait de vaches sous appellation d'origine protégée et 5 sous d'autres signes de qualité. L'agriculture biologique représente 8% de la SAU régionale (ARA).

Les zones d'élevages sont réparties sur les zones « défavorisées » de montagne avec en majorité des systèmes herbivores bovins (en vert sur la carte) (Figure 5), les systèmes de grandes cultures et de polyculture-élevage sont situés dans les zones de plaine où les potentiels de rendement sont plus favorables aux cultures (représentés en jaune et brun).



Agreste - Panorama Auvergne-Rhône-Alpes

Figure 5 : Carte des OTEX par communes de l'ancienne région Rhône-Alpes

3.2. Utilisation de cas type pour les simulations

Pour les simulations réalisées, nous avons choisi de travailler à partir de cas types. Les cas types sont des modèles construits à dire d'experts autour d'archétypes avec des données issues de fermes suivies dans des réseaux permettant de représenter d'un système de production d'une zone donnée. On trouve des cas types pour ne nombreux systèmes. Pour la modélisation cela permet d'avoir un grand nombre de données techniques et économiques ainsi que des données sur le fonctionnement de l'exploitation. Pour les exploitations d'élevage nous avons utilisé le réseau d'élevages INOSYS (Annexes 3 et 4). Pour les exploitations de grandes cultures, nous n'avons pas trouvé de cas types correspondant aux systèmes que nous souhaitons étudier. Nous avons donc croisé les données des moyennes régionales (Agreste) pour trouver la structure de l'exploitation (SAU, rotation, nombre d'UTH) ainsi que certaines données agronomiques : types de sol, rendements moyens, etc. Les données du RICA 2015 ont été utilisées pour calibrer de façon plus précise les résultats économiques des premières simulations. Enfin nous avons fait appel aux acteurs du développement des groupes de travail pour valider les données rassemblées. L'ensemble des données utilisées pour chaque exploitation simulée est précisé dans les Chapitres 4 et 5. Le reste des informations utilisées, comme la description complète des cas types élevage est fourni en Annexe.

Chapitre 3 :

**Caractérisation du fonctionnement de systèmes
de polyculture-élevage au niveau du territoire :
approche par l'analyse de coûts de transactions**

Chapitre 3 : Caractérisation du fonctionnement de systèmes de polyculture-élevage au niveau du territoire : approche par l'analyse de coûts de transactions

Ce chapitre est tiré de l'article du volume 72 de la revue Innovations Agronomiques son style a été harmonisé avec le reste du document.

Thiery E.^{1,2}, Ben Chedly H.¹, Pierret P.¹, Veysset P.², Brunschwig G.²

¹ AgroSup Dijon, 26, Boulevard Docteur Petitjean -CS 87999, F-21079 Dijon Cedex

² Université Clermont Auvergne, VetAgro Sup, Inra, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle

Correspondance : eglantine.thiery@agrosupdijon.fr

Résumé

Les interactions entre atelier de culture et atelier d'élevage sont perçues dans la littérature scientifique comme un concept vertueux. Elles intègrent notamment le bouclage des cycles des nutriments voire une meilleure résilience économique des exploitations. Pourtant, la tendance à la spécialisation des exploitations reste forte. Une solution pourrait être d'envisager un changement d'échelle, et d'imaginer ces interactions par le biais de transactions entre exploitations spécialisées à l'échelle du territoire. Pour accompagner les agriculteurs dans ces démarches, l'enjeu est alors de comprendre le fonctionnement de ces transactions et de déterminer les freins et les leviers pour accompagner les agriculteurs dans ces démarches. La théorie des coûts de transactions adaptée aux coopérations agricoles a permis d'identifier les facteurs déterminants à la bonne marche, à la pérennité de projets de coopération et bien sûr, les facteurs utiles à l'accompagnement de ces démarches.

Mots-clés : Interactions culture-élevage, Coût de transactions, Territoire, Polyculture-élevage

Abstract:

Characterization of crop-livestock systems at the territorial level: approach by analyzing transaction costs

The interactions between crop and livestock are perceived as a virtuous concept. In particular, they include the closure of nutrient cycles and even better economic resilience of farms. However, the trend towards the specialization of farms remains strong. One solution could be to consider a change of scale, and to imagine these interactions through transactions between specialized farms across the territory. To support farmers in these approaches, the challenge is to understand the operation of these transactions and determine the brakes and levers to support farmers in these approaches. The theory of transaction costs adapted to agricultural cooperation has made possible to identify the factors determining the proper functioning, the sustainability of cooperation projects and, of course, the factors that are useful in supporting these approaches.

Keywords: Crop-livestock integration, Transactions cost, Territory, Mixed farm

1. Introduction

Dans l'objectif de répondre aux enjeux actuels de durabilité des exploitations agricoles, la littérature scientifique porte un nouvel intérêt aux systèmes diversifiés en polyculture-élevage. De nombreuses études à l'échelle de l'exploitation agricole mettent en avant les bénéfices apportés par les complémentarités entre ateliers de culture et d'élevage. Selon la littérature, les systèmes en polyculture-élevage présentent des intérêts agronomiques pour l'amélioration de la fertilité des sols, la régulation des bio-agresseurs ou encore la séquestration du carbone dans les sols (Bonaudo et al., 2014 ; Lemaire et al., 2014 ; Peyraud et al., 2014 ; Soussana et Lemaire, 2014 ; Sulc et Franzluebbers, 2014). La capacité des animaux à valoriser les ressources végétales, et en particulier, les ressources fourragères non comestibles par l'homme (Bonaudo et al., 2014), illustre également le gain d'efficacité lié à l'utilisation des ressources naturelles potentiellement permise par ces systèmes (de Moraes et al., 2014 ; Schiere et al., 2002 ; Sulc et Tracy, 2007 ; Veyssset et al., 2014). Enfin, le bouclage des cycles des nutriments, qui se traduit principalement par l'utilisation des engrais de ferme comme fertilisants et amendements (Hendrickson et al., 2008), est un exemple des différents services écosystémiques fournis par cette diversification et des interactions qu'il peut y avoir entre ateliers. Ce bouclage de cycle limite les pertes en éléments nutritifs. Il peut contribuer à l'amélioration de l'autonomie des exploitations sur le plan de l'alimentation du troupeau ou de la fertilisation azotée par exemple (Ryschawy et al., 2012).

Cependant, les exploitations tendent encore globalement à se spécialiser. Par ailleurs, un certain nombre de difficultés freinent les systèmes spécialisés en grandes cultures à réintroduire un atelier d'élevage. La première limite est la question de l'investissement, notamment en capitaux, ainsi que le temps d'astreinte pour une activité d'élevage (Bell et al., 2014). La sectorisation des connaissances depuis l'enseignement agricole jusqu'aux conseils représente également une limite importante vis-à-vis des attentes en compétences plurisectorielles d'un polyculteur-éleveur. Enfin, le potentiel des sols de l'exploitation, le contexte socio-professionnel, ainsi que les filières présentes dans l'environnement proche des exploitations, peuvent également restreindre la diversification d'une exploitation (Meynard et al., 2013).

Pour dépasser ces contraintes, de nouveaux modes d'interaction entre culture et élevage se mettent en place à l'échelle du territoire. Ici, le contour du territoire peut se définir comme un cadre qui réunit des acteurs autour d'un enjeu partagé (Mischler et Veyssset, 2015). Un certain nombre d'initiatives locales, décrites dans la littérature, montrent un intérêt de plus en plus prégnant pour des coopérations entre exploitations spécialisées. Cependant, de nombreuses questions persistent encore, et l'impact de ces démarches sur le territoire ainsi que sur les exploitations, reste peu référencé.

Asai et al., 2018 ont récemment développé un cadre d'analyse pour comprendre et évaluer les performances des arrangements liés aux interactions entre exploitations agricoles. Ce cadre d'analyse est issu de la théorie des coûts de transactions. Cette théorie est construite sur des emprunts dans le domaine de l'économie, et de l'organisation, (Lavastre, 2001). Williamson (1985) estime ainsi, que toutes relations, économiques ou non, entre plusieurs entreprises qui coopèrent - ici les exploitations agricoles - présentées sous la forme d'un problème contractuel,

peuvent être évaluées selon des coûts de transactions. Ceux-ci correspondent aux coûts du transfert d'un bien ou d'un service d'un agent à un autre, et non aux coûts de la production en elle-même (Niehans, 1971). Ces transferts ont un impact sur la mise en place et la pérennité des démarches de coopérations (Asai et al., 2014). Identifier et comprendre les barrières et les stratégies des agriculteurs pour les surpasser présente un intérêt prégnant dans le développement et l'accompagnement de coopérations culture/élevage à l'échelle territoriale.

L'objectif de cet article est de comprendre l'organisation et la mise en place des coopérations entre exploitations à une échelle territoriale, ainsi que d'identifier les avantages et les limites de ces organisations aux différentes phases de leur construction et de leur pilotage.

2. Matériel et Méthode

Ce travail s'est construit sur la base d'enquêtes, réalisées auprès d'agriculteurs et d'employés de coopératives participant à une démarche de coopération.

Dans un second temps, l'analyse des enquêtes a permis de réaliser la comparaison et la caractérisation de la diversité des démarches. Grâce à l'analyse des coûts de transactions, selon la méthode proposée par Asai et al., 2018, il est possible de caractériser des systèmes de polyculture-élevage au niveau territorial.

2.1. Méthode d'analyse par les coûts de transactions

2.1.1. Théorie des coûts de transactions

A partir des années 1985, la théorie des coûts de transactions développée par Williamson, offre un cadre d'analyse pour caractériser et pour comprendre les démarches de coopérations entre plusieurs entreprises et identifier les leviers et freins à la mise en place et au maintien de ces collaborations. Appliquée à une démarche de coopération, cette théorie donne une évaluation comparative des modes d'organisation alternatifs.

Avant de décrire les différentes démarches de coopérations étudiées, il paraît important de clarifier les concepts fondateurs de cette théorie.

L'ambiguïté de la performance est un paramètre qui correspond à l'incapacité de mesurer les bénéfices apportés par l'échange. C'est une source de coûts dans la transaction (Ouchi, 1980). Elle est d'autant plus élevée que l'objet de l'échange est complexe. Par exemple, si l'objet n'est valorisable qu'à long terme, comme l'augmentation de la fertilité du sol avec un apport d'engrais de ferme, la négociation, le contrôle de réalisation de l'échange et le pilotage sont alors complexes et coûteux.

La seconde source de coût est **l'incompatibilité de but**. La mise en place d'une coopération est généralement réalisée pour atteindre un but commun ou parce que les membres du partenariat en attendent un bénéfice réciproque. Pourtant, les agriculteurs qui coopèrent n'ont pas forcément les mêmes objectifs. De plus, leurs objectifs collectifs ne sont pas forcément en accord avec les objectifs individuels de chaque exploitant.

2.1.2. Etapes des coûts de transactions : adaptées par Asai et al, (2018) aux démarches intégrant culture et élevage à l'échelle territoriale.

Dans la théorie des coûts de transactions, Williamson (1985) définit deux types de coûts :

- Les **coûts ex-ante** sont associés à la recherche d'information et à l'établissement d'un cahier des charges. C'est lors de cette étape que les membres du groupe négocient les termes du contrat ou plus généralement du mode de gouvernance choisi.
- Les **coûts ex-post** correspondent au pilotage et aux adaptations nécessaires pour pallier aux changements de l'environnement ou aux failles du contrat de départ. En se basant sur la littérature et sur les courants qui ont succédé aux travaux de (Williamson, 1985 ; Hobbs, 1997 ; Widmark et al., 2013). Asai et al., (2018), ont identifié trois grandes étapes susceptibles d'entraîner des coûts de transactions qui correspondent à la mise en place et au maintien de démarches de collaborations entre exploitations agricoles. Ce sont ces étapes que nous décrivons :

- **Coûts d'information**

La première étape correspond à la collecte d'informations et la recherche de partenaires. Elle intervient au commencement de la démarche de coopération. Elle fait partie des coûts ex ante décrit par Williamson (1985). Avant même la mise en place d'une coopération, l'initiateur de la collaboration doit collecter des informations sur la ressource disponible et ses utilisateurs (Asai et al., 2018), sur des partenaires et/ou l'offre et la demande correspondant à l'objet de l'échange. La recherche effectuée peut être d'ordre technique et opérationnel (machinisme, variété de plantes, alimentation animale, utilisation des engrais de ferme, réglementation autour des usages des sols). Elle peut aussi se concentrer sur le partenaire, c'est-à-dire sur la quantité et la qualité du produit qu'il est prêt à échanger ainsi que sa volonté de changer ses pratiques actuelles pour aller vers une coopération. S'informer sur les équipements disponibles pour réaliser la transaction donne une idée de la spécificité de l'actif de la coopération et des investissements à réaliser.

La spécificité de l'actif fait référence aux investissements effectués pour la mise en place d'une transaction donnée. Un actif, tel qu'il est défini ici, a une valeur exclusivement dans le cadre de la relation pour laquelle il a été réalisé. Il correspond, par exemple, à un besoin de support spécifique pour la réalisation de la transaction. « Plus les activités visées sont standard, simples sur le plan commercial, facilement définissables d'un point de vue technologique, plus les coûts de transactions ex ante seront faibles » (Lavastre, 2001).

- **Coûts de négociation**

Dans une seconde étape, une fois les partenaires identifiés et l'objet du partenariat défini, les partenaires doivent s'accorder sur l'organisation de l'échange. Asai et al. (2018) désignent cette étape comme la prise de décision collective, elle fait aussi partie du coût ex-ante décrit par Williamson (1985). Lors de cette phase, l'objectif est que chaque membre du partenariat puisse exprimer ses attentes et ses contraintes, ceci, afin de coordonner et de planifier les modalités des transactions ou des activités. Elle permet d'établir un cahier des charges et aboutit à l'élaboration d'un contrat formel ou informel des termes de l'échange : partage des coûts de transport, partage des différentes opérations culturelles, investissement dans du matériel ou

de la main-d'œuvre collective. Cette étape est fortement influencée par l'ambiguïté de performance ainsi que par l'incompatibilité de but. En effet, les productions échangées peuvent dans certains cas, avoir une valeur monétaire difficile à estimer. De plus, les exemples nous montrent que les motivations des agriculteurs ne vont pas forcément dans le même sens et peuvent conduire à des incohérences dans la réalisation de la coopération. S'ajoute à cela le **degré d'incertitude** autour de l'objet de la transaction.

Bien que la littérature réfute de façon empirique l'impact réel de l'incertitude dans les coûts de transactions (David et Han 2004 ; Carte et Hodgson, 2006, cités dans Roussel, 2008), l'impact de l'incertitude est prégnant dans l'analyse de la structure de gouvernance de l'échange (Ghertman, 2006). L'incertitude se décline en deux types indissociables : l'incertitude environnementale et comportementale :

L'incertitude environnementale se définit comme le manque d'information de l'agent sur son environnement ainsi que les sources de variations de ce dernier. Ce manque d'information peut être aussi bien sur l'amplitude des changements potentiels ou dans la diversité des sources d'incertitudes. En effet, selon Roussel (2008) « l'incertitude sera d'autant plus forte que les changements seront nombreux et difficilement prévisibles ».

L'incertitude comportementale correspond au manque d'information sur les autres agents économiques, autrement dit sur la difficulté d'anticiper le comportement d'autrui.

- **Coûts de mise en œuvre**

La troisième étape de la coopération est la mise en œuvre opérationnelle des transactions. Elle traduit le fonctionnement de la coopération et la réalisation des tâches liées à la collaboration, selon les termes précédemment négociés. Cette étape fait partie des coûts ex-post décrit par Williamson (1985). La fréquence de la transaction et l'objet de l'échange peuvent impacter le coût de cette dernière, comme l'illustre la Figure 1.

La fréquence de la transaction est le dernier attribut ayant un impact significatif sur les coûts de transactions. Selon la théorie, plus les biens échangés sont standard, avec un faible niveau de spécificité de l'actif et d'incertitude, plus les transactions seront fréquentes. Pour ces caractéristiques d'échange, le marché sera encore une fois le mode de gouvernance choisi. Si au contraire, la spécificité de l'actif et le degré d'incertitude sont élevés, la fréquence de transactions sera plus faible et les coûts de transactions plus élevés.

Cette étape est combinée avec la phase de pilotage et d'adaptation dans les travaux d'Asai et al. (2018).

- **Coûts de pilotage**

La dernière phase, décrite dans les travaux d'Asai et al. (2018) est l'étape de bilan et de rétroaction sur l'organisation du partenariat, dernier coût ex-post par rapport au contrat. Du fait d'une élaboration imprécise ou d'une caractérisation imparfaite de la relation dans le contrat, des difficultés peuvent survenir une fois la coopération commencée. Un ajustement du contrat peut être réalisé en fonction de la satisfaction de chaque membre par rapport à l'échange. Cette étape prend également en compte la résolution de conflit, quand les relations entre les membres sont perturbées.

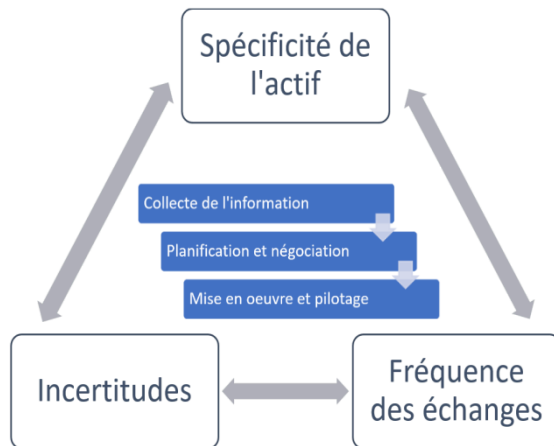


Figure 1: Schéma des interactions entre attributs des coûts de transaction sur les étapes de mise en place d'une coopération.

2.2. Matériel : critères de sélection des cas d'étude

Dans le but de recenser des démarches d'interactions entre exploitations de culture et d'élevage, un recensement a été réalisé à dire d'experts, par l'intermédiaire d'enquêtes téléphoniques menées auprès d'une trentaine d'acteurs du développement en poste sur la zone d'étude. Cette zone d'étude réunit les anciennes régions Bourgogne, Franche-Comté et Rhône-Alpes.

Toutes les démarches étudiées sont des coopérations déjà existantes avec d'une seule à une dizaine de campagnes de recul. L'objectif était de sélectionner des démarches présentant des caractéristiques très distinctes pour explorer la diversité des interactions entre ateliers de culture et d'élevage, ainsi que des modes de gouvernance qui régissent ces échanges. Les démarches devaient se situer dans la zone d'étude et pouvoir être considérées comme atypiques, c'est-à-dire hors des exemples habituels tels que les échanges paille/fumier.

Quatre démarches ont ainsi été étudiées par l'intermédiaire de 8 enquêtes semi-directives. Les quatre cas étudiés sont :

- Une démarche de valorisation de céréales et oléo-protéagineux pour l'alimentation animale,
- La création d'une filière locale de tourteaux de soja non OGM,
- Un assolement en commun pour plusieurs exploitations,
- La valorisation d'un couvert d'inter-culture par une troupe ovine de l'exploitation voisine.

Pour chacun des cas étudiés, au minimum deux membres de chaque coopération ont été enquêtés. De cette façon, les discours croisés des deux parties offraient une représentation plus objective du fonctionnement de la coopération. Toutefois, un seul employé de la coopérative a pu être enquêté pour le cas de la filière de tourteaux non OGM. Les quatre démarches sont décrites dans la partie suivante et résumées dans le tableau de synthèse (Tableau 1).

2.3. Description des cas d'études

2.3.1. Pâturage des dérobées par une troupe ovine d'une exploitation voisine

Ce dernier cas d'étude correspond à un échange entre deux agriculteurs respectivement spécialisés en grandes-cultures et en élevage ovin. L'objet de l'échange entre ces deux exploitations est la mise à disposition de parcelles (10 ha au total) de l'exploitation en grandes-cultures pendant la période d'inter-culture (de la moisson de la culture d'automne en juillet à la mise en place de la culture de printemps en mars/avril), pour le pâturage des ovins de l'exploitation d'élevage.

L'éleveuse a la charge de l'achat de la semence et du semis. La première année, elle a eu recours à l'aide d'un conseiller agricole pour le choix des semences pour le mélange du couvert. Le céréalier lui laisse toute liberté concernant l'utilisation du couvert, le chargement animal et le temps de pâturage. Les ovins pâturent directement le couvert semé. L'éleveuse dispose du matériel pour récolter le couvert, lorsqu'il n'est pas pâturé. Avant la mise en place de la nouvelle culture, l'éleveuse broie et enfouit le reste du mélange. Le céréalier réalise un travail du sol superficiel pour préparer son semis.

Cette démarche a permis de conforter l'installation de l'éleveuse, encore en cours, et de conforter l'acquisition de son cheptel. Elle a en effet rencontré de grandes difficultés pour acquérir des surfaces fourragères et par conséquent elle reste non autonome en alimentation fourragère pour sa troupe ovine. Le céréalier réalisait déjà des inter-cultures avant de proposer ses parcelles à l'éleveuse. Il existait des relations cordiales entre les deux agriculteurs avant cette coopération. Le compagnon de l'éleveuse et le céréalier travaillaient déjà ensemble sur des activités de travaux agricoles.

2.3.2. Assolement en commun

La troisième démarche étudiée réunit 3 GAEC (Groupement Agricole d'Exploitation en Commun) avec 7 associés sur deux générations en polyculture-élevage. L'objet de leur partenariat est une mutualisation complète des surfaces de production de céréales et oléo protéagineux ainsi que du matériel de culture. Les élevages de chaque exploitation restent indépendants du collectif.

Chaque membre a des responsabilités au niveau des activités culturales, chaque activité est gérée en binôme pour garder une marge de manœuvre pour les remplacements. Toutes les cultures sont réalisées indifféremment sur toute la surface du foncier mise en commun. Celle-ci représente environ 700 ha. La rémunération des productions et la répartition des charges opérationnelles liées aux productions végétales sont réparties au prorata des surfaces détenues par chaque GAEC. Pour exemple, un des GAEC possède 40 % de la surface de culture

mise en commun, il récupérera donc 40 % de la vente des cultures et aura à sa charge 40 % des charges liées aux cultures. Pour les chantiers de fenaisons, les charges sont réparties en fonction des surfaces en prairies de chaque exploitation.

La coopération entre les trois GAEC fonctionne depuis longtemps. La première génération s'est réunie au départ pour s'entraider lors des chantiers de fenaisons. La deuxième génération des associés de chaque GAEC s'est ensuite accordée pour acheter du matériel en commun. Le collectif a fini par mutualiser toutes les surfaces en culture ainsi que tout le matériel de culture. Seules les surfaces de prairie et les ateliers d'élevage sont restés indépendants. Le collectif n'a pas fait le choix d'avoir un accompagnement spécifique. Avant la création de l'assolement en commun, les membres du groupe ont visité un autre assolement en commun pour avoir un retour d'expérience. Un appui juridique leur a tout de même été nécessaire pour créer la société en participation qui encadre réglementairement la mutualisation de surface entre plusieurs exploitations.

2.3.3. Valorisation de céréales et oléo-protéagineux produits en agriculture biologique pour l'alimentation animale

Cette démarche s'est mise en place à l'initiative d'un céréalier, au moment de sa conversion à l'agriculture biologique dans les années 2000. Rencontrant des difficultés à valoriser ses céréales à faible valeur ajoutée, le céréalier a recherché de nouveaux débouchés en se tournant vers l'alimentation animale. Ne trouvant pas de filière suffisamment rémunératrice (déficit en structure de négociation de grandes cultures bio au niveau local), il a d'abord vendu ses céréales en direct en passant par un organisme stockeur du département voisin. Après avoir obtenu une certification, il stocke désormais lui-même ses céréales et les vend directement aux éleveurs. Aujourd'hui, 25 éleveurs s'approvisionnent auprès de ce céréalier. Ce sont principalement des élevages de ruminants (bovin/caprin), mais aussi de monogastriques (volaille/porcin). Certains de ces élevages ont des productions sous signe de qualité, valorisées en circuits courts. Ils sont à la recherche d'une bonne traçabilité pour l'alimentation de leur troupeau. Un des éleveurs a également mis en avant son intérêt pour un approvisionnement local et trouve une certaine fierté au fait que sa production soit locale jusqu'aux matières premières utilisées pour l'alimentation du troupeau. Chaque année, 1 200 tonnes de céréales et graines d'oléo-protéagineux sont produites pour l'alimentation animale. Les principales espèces cultivées sont du triticale, avoine, orge, pois de printemps, soja, féveroles d'hiver et de printemps. Au démarrage du projet, plusieurs réunions ont été organisées avec l'aide d'une chambre consulaire spécialisée en agriculture biologique pour permettre au céréalier de rencontrer des éleveurs et de leur présenter son projet. Ces réunions ont également permis aux éleveurs et au céréalier de pouvoir exprimer leurs attentes et contraintes respectives.

En début d'année calendaire, les éleveurs appellent le céréalier pour définir avec lui leurs besoins en aliments concentrés pour l'année suivante. Ce fonctionnement permet au céréalier de réfléchir son assolement en fonction des besoins des éleveurs et de ne produire que ce qui lui a été commandé. Toutefois, les membres du partenariat s'accordent une certaine flexibilité sur les quantités ou sur la composition du concentré en fonction des récoltes. Les céréales et oléo protéagineux produits sont en partie stockés chez le céréalier et chez les éleveurs, ils sont vendus en grains entiers mélangés pour simplifier le stockage.

Cette démarche individuelle, initiée par un céréalier, crée une dynamique d'autonomie locale auprès d'éleveurs dans un rayon de 100 km. Les principaux enjeux des coopérants dans cette démarche sont la fixation d'un prix équitable et rémunérateur, ainsi que la gestion des stocks sans surproduction, tout en favorisant une production locale, tracée et en réduisant les transports.

2.3.4. Initiative de filières locales de tourteaux de soja non OGM (filière soja locale)

Cette dernière démarche est à l'initiative d'une coopérative réunissant des élevages herbagers de montagne - souvent avec des productions sous signe de qualité - et des céréaliers de plaine en monoculture de maïs. Cette démarche d'interaction culture/élevage régionale est survenue suite à deux blocages majeurs rencontrés par les membres de la coopérative. D'une part des problématiques agronomiques ont poussé les céréaliers à des réflexions sur la diversification et l'allongement de leur rotation. D'autre part, la coopérative rencontre de plus en plus de difficultés à trouver un approvisionnement sécurisé et stable (traçabilité et volatilité du prix d'achat) en tourteaux de soja non OGM pour les éleveurs adhérents.

La gouvernance de cette coopération culture/élevage est entièrement gérée par la coopérative agricole. Cette dernière réalise une contractualisation sur plusieurs années avec les producteurs de soja selon un cahier des charges prédéfini sur l'itinéraire technique à suivre et sur le prix de vente. Elle contractualise également avec les éleveurs une quantité de tourteaux de soja ainsi que son prix. Les agriculteurs n'ont pas de lien direct entre eux, leur seul interlocuteur est la coopérative. La récolte des graines de soja est réalisée par une entreprise de travaux agricoles. La trituration est exécutée à façon par une huilerie en collaboration avec la coopérative. Le tourteau de soja ainsi que l'huile résiduelle sont introduits dans la fabrication d'aliments pour animaux. Le nombre d'hectares de soja semés dépend des quantités de tourteaux contractualisées avec les éleveurs et des objectifs de rendement estimés.

Avant de mettre en place cette filière, la coopérative a réalisé une prospection sur le potentiel de production en soja sur les parcelles de son territoire de collecte, ainsi que sur les besoins des éleveurs. Il a également fallu un investissement technique pour la réappropriation de la technique de culture ainsi que des process de transformation de la graine. Le régime alimentaire des élevages ciblés a également été étudié et un essai en ferme a été mis en place afin d'observer les performances zootechniques sur 2 ans. A la suite du lancement de la commercialisation du tourteau, un suivi rapproché des exploitations consommatrices de ce tourteau a été réalisé.

La fixation du prix d'achat des graines de soja et de vente du tourteau a été faite par le service de gestion interne de la coopérative. Celle-ci a tout d'abord réalisé une analyse de données sur le coût de production moyen pour la culture du soja. Elle l'a ensuite comparée aux coûts de productions des cultures en place et au potentiel de rendement des parcelles ciblées. Une fois l'estimation des coûts de production calculés en fonction du potentiel des parcelles, une marge pour la rémunération des cultivateurs a été ajoutée pour déterminer le prix d'achat des graines. La coopérative prend également en charge toute la logistique et le travail des entreprises de travaux agricoles qui réalisent la récolte.

La coopérative travaille aussi avec les polyculteurs-éleveurs producteurs de graines de soja et consommateurs de tourteaux, elle contractualise avec eux le travail à façon de la récolte et la trituration de leur soja.

Les enjeux globaux de cette filière pour la coopérative et les agriculteurs intégrés à celle-ci sont la production et l'augmentation de l'autonomie du territoire en protéine pour l'alimentation animale, et plus particulièrement en soja non OGM tracé. La coopérative développe en même temps une filière foin de luzerne selon les mêmes termes.

Tableau 1: Tableau récapitulatif des caractéristiques des démarches d'interactions culture/élevage territoriales étudiées

	Pâturage dérobée/ovin	Assolement en commun	Organisme stockeur/éleveur	Filière soja locale
Acteurs présents dans l'échange	Agriculteurs	Agriculteurs	Agriculteurs	Agriculteurs + Coopérative
Spécialisation des exploitations	Eleveur/céréalier	Polyculteur- éleveur	Eleveur/céréalier	Eleveur/céréalier
Taille des exploitations (en ha)	40 et 100	334 - 370 - 340	120 et NA	NA
Taille du groupe	2 exploitations	7 personnes 3 exploitations	Environ 30 exploitations	Environ 40 éleveurs, 90 céréaliers et la coopérative
Distance entre les partenaires	10 km maximum	Exploitations limitrophes	Rayon de 100 km	Rayon de 100 km
Dimension du partenariat	Une parcelle sur une période donnée	Les 3 SCOP ~700 ha	Département	Région
Orientation technico- éco de la zone	Polyculture- élevage	Polyculture- élevage	Zones spécialisées	Zones spécialisées
Type d'échange	Mutualisation de 10 ha de parcelles cultivées, entraide pour les mouvements d'animaux	Mutualisation de la totalité de la SCOP, de matériel et partage du travail et de compétences	Achat/ vente de céréales et oléo- protéagineux	Culture et vente de grains de soja et foin de luzerne, transformation en tourteaux, achat de tourteaux et foin de luzerne
Valorisation des échanges	Alimentation animale	Organisation du travail et économie d'échelle	Alimentation animale	Alimentation animale

3. Comparaison des démarches et de leurs trajectoires par étape des coûts de transactions

3.1. Collecte de l'information : un relationnel déjà établi facilite les coopérations

Pour cette première étape de la mise sur pied d'une coopération entre plusieurs exploitations agricoles, les moyens déployés pour la collecte d'informations dans les différents cas d'études sont très variables. Ils peuvent varier en fonction des caractéristiques du groupe et des caractéristiques des individus au sein du groupe.

Une interconnaissance des membres avant la mise en place de l'échange réduit l'incertitude comportementale et le coût de prospection des partenaires. Elle apparaît dans plusieurs autres études comme un facteur facilitateur des coopérations (Boudet, 2015 ; Le Guen, 2016). Elle peut être liée à la présence d'un réseau social dynamique autour de l'exploitation, également décrit dans la littérature comme facteur déterminant des échanges (Asai et al., 2018).

Pour la démarche de valorisation de cultures dérobées par une troupe ovine, les agriculteurs se connaissaient avant la mise en place de la coopération. Cette première phase s'est donc limitée à une recherche d'informations techniques. C'est également le cas pour les polyculteurs-éleveurs de l'assolement en commun. Tous les membres du collectif entretenaient auparavant des relations cordiales en lien ou non avec leur travail. Pour les deux autres cas étudiés, la recherche de partenaires représente une mise en œuvre relativement conséquente dans le processus de coopération. Le céréalier certifié organisme stockeur qui valorise ses cultures en alimentation animale, a démarché des éleveurs par le biais de plusieurs réunions organisées par une chambre consulaire. Pour estimer le potentiel en offre et en demande de soja non OGM sur son territoire de collecte, la coopérative initiatrice des deux filières locales a réalisé des prospections du côté des éleveurs comme du côté des céréaliers.

Une fois le partenaire trouvé, d'autres informations peuvent être nécessaires avant la mise en place de la coopération. Dans le cas de l'implantation et du pâturage des dérobées par une troupe ovine, l'éleveuse s'est renseignée sur le choix d'un mélange pour l'implantation d'un couvert d'intérêt nutritionnel pour les animaux pâturants. Ce choix a été réalisé avec l'appui technique d'une chambre consulaire. Dans le but de réduire l'ambiguïté de performance, la coopérative a également réalisé de gros investissements en recherche technique sur la fabrication du tourteau et sur les performances zootechniques obtenues avec ce produit.

La recherche d'informations peut être d'ordre juridique et réglementaire, en plus de la dimension technique vue précédemment. La mise en place d'échanges hors marché ou la mutualisation d'outil de production doivent suivre les réglementations en vigueur. La certification d'un agriculteur en organisme stockeur pour être autorisé à vendre ses céréales et oléo protéagineux à des éleveurs, en est une illustration. La mutualisation de foncier est d'autant plus complexe qu'il existe un manque de cadrage institutionnel sur ces pratiques (Le Cadre, 2015). Pour exemple, la mise en place d'une mutualisation de foncier demande la mise en œuvre d'un statut juridique spécifique : une société en participation pour pouvoir créer et exploiter de façon légale un assolement collectivement. Cette société n'encadre que

l'utilisation des sols, aucune règle ne régit les autres implications de cette mutualisation (allocation de la vente des cultures, organisation du travail, par exemple).

La prise en charge de ces premiers coûts de transactions, peut être répartie entre les membres de la coopération ou être assumée par une seule partie. Dans le cas du développement de la filière soja locale, les coûts de transactions sont pour la majorité pris en charge par la coopérative initiatrice de la démarche. Dans les 6 cas de démarches d'intégrations culture-élevage étudiées par Asai et al., (2018) la présence d'un support technique ou financier est récurrente.

L'incertitude environnementale est présente dans tous les cas, mais elle est plus conséquente dans les cas des transactions du tourteau de soja, de céréales et d'autres oléo-protéagineux. Cette incertitude est en grande partie liée à la volatilité des prix de ces produits. Ces transactions demandent tout particulièrement de s'informer sur la concurrence pour développer un produit à la fois compétitif et rémunérateur pour toutes les parties de l'échange. Plus cette incertitude va être importante, plus les agents vont investir du temps et des moyens dans la collecte d'informations (Tableau 2). Cependant, les informations sont souvent imparfaites. Il est impossible de prédire les avancées techniques ou les aléas climatiques et économiques. Pour se prémunir des risques liés à ces incertitudes, une étape de négociation et de mise en place d'une gouvernance de la transaction, est essentielle.

3.2. Planification et négociation : incertitude et spécificité de l'actif, des attributs qui influencent le mode de gouvernance

La seconde phase de mise en place d'une coopération entre plusieurs entreprises comprend la planification de la transaction ainsi que les négociations pour aboutir à la formalisation de la gouvernance du partenariat. Cette phase est, par conséquent, très dépendante du degré d'incertitude et de la spécificité de l'actif.

Roussel (2008) explique dans ses travaux que lorsque l'incertitude comportementale est faible (le partenaire est perçu comme fiable) et l'incertitude environnementale forte (volatilité des prix des produits, développement de nouvelles technologies), les intéressés choisiront une structure de gouvernance sous forme de contrat qui se situe entre le marché « pur » et l'intégration de l'exploitation dans une filière.

Dans les quatre cas étudiés, seuls les membres de la filière soja locale ont formalisé leur coopération par des contrats écrits. Pour les autres exemples, la gouvernance du partenariat s'est traduite sous la forme de contrat informel, voire tacite entre les membres de la coopération. En effet, comme le souligne l'étude juridique (Le Cadre, 2015), l'engagement verbal a une importance particulière dans le milieu agricole.

De la même façon, la planification de la coopération et des transactions est gérée directement par les membres de la coopération, exception faite pour la filière soja locale, où la coopérative gère l'intégralité de la logistique et de l'organisation de la coopération, et fait l'intermédiaire entre les producteurs de soja, la transformation du soja en tourteau et les éleveurs.

La spécificité de l'actif est un attribut tout aussi déterminant dans les coûts de cette phase dans les cas étudiés. Dans d'autres études, la rareté de l'actif apparaît également comme déterminante alors que ce n'est pas le cas dans les exemples présentés (Asai et al., 2018). Dans le cas de la valorisation d'un couvert par une troupe ovine, la spécificité de l'actif apparaît comme faible. En effet, cette coopération, n'a pas nécessité d'investissements spécifiques. Alors que dans les trois autres démarches, les investissements réalisés pour effectuer des transactions ont été plus conséquents, comme indiqué dans le tableau de synthèse (Tableau 2). Dans le cas de la filière soja locale, l'actif de cette transaction est peu spécifique du fait des activités de la coopérative de collecte et de transformation de culture pour l'alimentation animale. De plus, la coopérative a fait le choix stratégique de passer par l'intermédiaire d'une huilerie extérieure plutôt que d'investir elle-même dans sa propre unité pour la trituration des graines de soja. Une telle démarche ne pourrait pas être soutenue par des agriculteurs seuls. D'autres démarches telles que la création de séchoirs collectifs montrent les barrières que représente l'engagement d'un collectif d'agriculteurs dans un investissement conséquent, avec des bénéfices à long terme. Une spécificité de l'actif significative, demande d'avoir l'assurance de vendre ses productions et par conséquent d'avoir une confiance importante envers ses partenaires ou de pouvoir coopérer facilement avec d'autres éleveurs.

D'autre part, le nombre important de personnes engagées dans la filière soja locale contribue fortement à augmenter l'incertitude comportementale par comparaison avec des transactions de ferme à ferme avec une relation de confiance préétablie.

3.3. Mise en œuvre des transactions : des transactions à distance limitée par les coûts de transport

Cette étape correspondant au fonctionnement de la coopération peut être fortement influencée par l'objet de l'échange ainsi que la fréquence de transactions. Les coûts de transactions sont également dépendants de la distance entre les collaborateurs. Un exemple qui illustre parfaitement ce concept est la transaction d'engrais de ferme. En effet, selon la littérature, la distance entre exploitations représente le principal obstacle dans le transport et l'utilisation d'engrais de ferme (Asai et al., 2018). Ce coût logistique est d'autant plus élevé que le rapport matière organique sur le poids de l'effluent est faible (Russelle et al., 2007).

La fréquence de transactions est influencée par les deux autres attributs (degré d'incertitude et spécificité de l'actif) (Roussel, 2008), mais aussi par l'objet de la transaction. Dans le cas de l'assolement en commun, la mise en œuvre de la coopération s'effectue au quotidien (Tableau 2). Alors que dans les cas de transactions de céréales et oléo-protéagineux, les transactions sont beaucoup moins fréquentes, d'une part parce que l'objet de la coopération ne demande pas une relation très régulière, d'autre part, parce que la distance entre les exploitations limite les échanges. Les cas présentement étudiés sont pour deux cas sur quatre insérés dans des territoires de polyculture-élevage. Cette situation dénote la présence des différentes productions végétales et animales et potentiellement un meilleur équilibre entre les ressources sur un rayon assez restreint ce qui n'est pas forcément le cas dans d'autres régions beaucoup plus spécialisées en élevage par exemple (Moraine, 2016).

Dans le cas de régions très spécialisées en grandes cultures, il peut être envisagé l'installation d'élevage pâturent de parcelles en inter-culture ou la fourniture d'engrais de ferme. Le fait d'installer des unités de productions proches de ces collaborateurs correspond à une spécificité de site, sous élément de la spécificité de l'actif (Ghertman 2006). Selon ce concept économique, cette démarche permettrait une réduction des coûts de transport dans les transactions de marchandises volumineuses ou difficilement transportables.

Le contrat formel et biannuel pour les membres de la filière soja locale permet d'avoir une mise en œuvre simplifiée et standardisée de la production et de la récolte du soja. Ce cahier des charges exhaustif laisse peu de place aux aléas. Il peut aussi être vu comme une contrainte supplémentaire par les agriculteurs ou comme une perte d'autonomie de prise de décision individuelle (Moraine et al., 2014).

3.4. Pilotage : retour sur la réciprocité des bénéfices de la coopération et ajustement du contrat

Cette phase correspond à la gestion de la coopération lors de laquelle les membres du collectif font le bilan sur la transaction et estiment le niveau de satisfaction de leurs attentes. Un dialogue régulier, voire quotidien, permet d'ajuster la gestion de l'assolement en commun. De plus, le fait d'avoir choisi une gouvernance avec un contrat informel et peu exhaustif permet des ajustements réguliers du fonctionnement. Cependant, dans le cas où il y a une divergence de but non exprimée au moment de la négociation de la transaction et que les motivations de chaque membre ne sont pas exprimées, des conflits peuvent apparaître lors du bilan sur la satisfaction des membres de la coopération. Au fil des années, les membres du collectif de l'assolement en commun peuvent se rendre compte qu'ils ne possèdent pas les mêmes aspirations à travailler en collectif. Cette situation crée alors des tensions qui peuvent remettre en cause la coopération.

Dans d'autres cas, comme dans la coopération autour de la valorisation de couvert par une troupe ovine, les coûts de pilotage sont relativement faibles, avec des dialogues réguliers entre les membres du collectif. Ceci, vient en partie du fait que la mutualisation entre les deux exploitations est de faible importance sur le fonctionnement individuel des exploitations. La stratégie de ces agriculteurs est d'instaurer des mutualisations de façon progressive. Forts d'une première expérience positive avec l'utilisation partagée de parcelles cultivées, ils envisagent de multiplier les interactions entre leurs exploitations. Une expérience positive antérieure fait partie des déterminants favorisant la coopération (Asai et al., 2018). D'autre part, la littérature met en avant l'intérêt de fractionner la part de l'exploitation engagée dans une coopération afin de réduire la perception du risque des agriculteurs (Emery et Franks, 2012). Les membres de l'assolement en commun ont ainsi passé progressivement leur matériel en copropriété avant de mettre en commun leur surface de culture.

Cependant, l'agrégation successive d'interactions comme on peut le voir dans les deux cas cités peut entraîner une complexification de la coopération et conduire à une situation de *lock-in* (Boissin, 1999). Par exemple, des investissements en commun, peuvent engendrer la création d'une interdépendance qui enferme les membres au sein de la relation. Cette situation fait

écho à la démarche d'assolement et de matériel en commun. L'enquête réalisée auprès des membres de l'assolement en commun a révélé une division des compétences entre les membres de chaque exploitation qui ne savent plus fonctionner seuls. Dans le cas présent, on atteint une spécificité de l'actif humain.

Tableau 2: Estimation de la pondération des attributs des coûts de transactions en fonction des démarches étudiées

	Pâturage dérobée/ovin	Assolement en commun	Organisme stockeur/éleveur	Filière soja locale
Spécificité de l'actif	Faible	Moyenne	Moyenne	Forte
Degré d'incertitude	Faible	Moyen	Fort	Fort
Fréquence de transactions	Régulière	Quotidienne	Faible	Faible
Investissements/ Bénéfices	Peu d'investissement pour les deux parties	Investissements équilibrés entre les membres	Investissements stockage pour le céréaliier et frais de transport supportés par les deux parties	Investissements importants supportés par la coopérative
Répartitions des bénéfices	Intérêt fort pour l'éleveuse, moyen pour le céréaliier	Bénéfices réciproques	Intérêt réciproque de sécurisation des prix	Intérêt agronomique, sécurisation des prix achat/vente et traçabilité de l'approvisionnement

4. Discussion générale

Le nombre de cas décrits ne donne pas une vision exhaustive des interactions entre culture et élevage. Cependant, la singularité des cas présentés donne une idée des leviers et des freins à la mise en place et au maintien de ces coopérations.

Au regard des enquêtes présentées et de la littérature, l'objet de l'échange semble avoir un impact significatif sur les coûts de transactions. D'une part, par la spécificité et la rareté de l'actif (Asai et al., 2018), D'autre part, par les besoins en équipement et connaissances spécifiques pour la mise en place de l'échange et les investissements que cela engendre (Russelle et al., 2007 ; Bell et Moore, 2012). En effet, des investissements importants au commencement d'une démarche de coopération peuvent être un frein à la mise en place d'interactions entre des exploitations. C'est en particulier le cas lorsqu'il n'y a ni soutien financier, ni intermédiaire extérieur, comme par exemple une coopérative pour prendre en charge les investissements ou l'expertise technique. Le support technique et/ou financier est décrit dans la littérature (Asai et al., 2018) comme essentiel, les filières de soja et foin de luzerne locales présentées dans cette étude en sont également des exemples. En revanche, le support et l'accompagnement sont beaucoup moins présents dans les autres cas, ou uniquement de façon ponctuelle à un moment clé de la coopération.

La dimension du groupe, le rayon d'action et le nombre de membres influencent le degré d'incertitude et par conséquent le mode de gouvernance adapté. Dans le domaine agricole,

peu de contrats sont formalisés (Le Cadre, 2015). Pourtant, il apparaît que la formalisation d'un contrat écrit est un facteur sécurisant lors de coopérations entre personnes qui ne se connaissent pas auparavant ou dans le cas d'investissements en commun (Asai et al., 2018).

Enfin, la proximité spatiale et relationnelle sont déterminantes dans la somme des coûts de transactions et par la même, dans l'aboutissement et la pérennité des coopérations (Asai et Langer, 2014). Comme l'explique Lucas et al. (2014), le facteur humain est à prendre en compte dans toutes les constructions de projets d'interactions entre culture et élevage. La relation de confiance apparaît dans la littérature comme un des éléments les plus importants dans la réduction des coûts de transactions et dans la pérennité de l'échange.

De plus en plus de références et outils sous différentes formes (cartes, jeu sérieux, etc.,) sont à la disposition des agriculteurs pour aider à la conception et la mise en place de coopérations en fonction de leurs situations et de l'objet des échanges (Manteaux, 2015 ; Ryschawy, 2017 ; Russelle et al., 2007 ; fiches réalisées dans le cadre du projet CerEl). Cependant, les lacunes restent importantes quant à la quantification des intérêts de ces coopérations aussi bien au niveau économique, qu'environnemental ou social. Ce manque d'information auprès des agriculteurs représente une barrière à la mise en place de nouvelles interactions entre exploitations (Emery et Franks, 2012). Avoir une représentation claire des coûts économique, matériel ou humain engendrés par la mise en œuvre d'une coopération et pouvoir les quantifier grâce par exemple à la théorie des coûts de transactions ou encore une analyse coûts-bénéfices, ou une analyse des performances de l'exploitation, peut apporter un cadrage sécurisant pour les agriculteurs. Ces informations permettent de mieux concevoir et adapter une collaboration et sa gouvernance en fonction du contexte des exploitations et des contraintes des agriculteurs. Le changement d'échelle des interactions entre culture et élevage, le passage de l'échelle exploitation à l'échelle territoriale ajoutent une dimension humaine prégnante dans les échanges. Il est indispensable de la prendre en compte, en conséquence de quoi, la faisabilité des coopérations pourra sérieusement être remise en cause, quels que soient leurs intérêts agronomiques ou environnementaux.

5. Conclusion

L'analyse et la caractérisation de démarches de coopération entre exploitations culture/élevage selon la théorie des coûts de transactions permet de comprendre les stratégies mises en place pour réduire les coûts de transactions et d'identifier les barrières et obstacles rencontrés par les groupes étudiés. Cette théorie permet en premier lieu de codifier les échanges, de donner des repères pour préparer un projet de coopération, et d'identifier les points éventuels de blocage, ainsi que les points nécessitant une discussion ou négociation particulières pour clarifier les termes de l'échange. Elle permet en second lieu de décomposer les étapes et la nature des points à négocier afin de pouvoir le faire de manière appropriée. Enfin, elle peut constituer une aide pour échelonner la progression de coopérations en respectant les temps d'appropriation par les acteurs et d'instauration d'une confiance à même de faciliter les échanges.

Le support technique mis principalement en avant dans d'autres études (Asai et al., 2018) est moins prégnant dans les cas étudiés. Ceci peut en partie s'expliquer par le fait que plusieurs

des cas étudiés sont des coopérations deux à deux, un seul des cas s'organise à une échelle beaucoup plus large, la filière soja locale.

La création de références, grâce à des fiches techniques, des témoignages ou d'outils de quantification des besoins semble être des solutions intéressantes pour accompagner la mise en place de la pérennité de modes de coopération alternatifs encore peu exploités qui pourraient néanmoins, répondre aux enjeux agricoles de demain.

Références bibliographiques

- Asai M., Langer V., 2014. Collaborative partnerships between organic farmers in livestock-intensive areas of Denmark. *Science + Business*.
- Asai M., Langer V., Frederiksen P., Jacobsen B.H., 2014. Livestock farmer perceptions of successful collaborative arrangements for manure exchange: A study in Denmark. *Agricultural Systems*, 128, 55-65.
- Asai M., Moraine M., Ryschawy J., de Wit J., Hoshide A.K., Martin G., 2018. Critical factors for crop-livestock integration beyond the farm level: A cross-analysis of worldwide case studies. *Land Use Policy*, 73, 184-194.
- Boissin O., 1999. La construction des actifs spécifiques: une analyse critique de la théorie des coûts de transactions. *Revue d'économie industrielle*, (90), 7-24.
- Bonaudo T., Burlamaqui Bendahan A., Sabatier R., Ryschawy J., Bellon S., Leger F., Tichit M., 2014. Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. *European Journal of Agronomy*, 57, 43-51.
- Boudet S., 2015. Etude de relations de coopérations établies entre céréaliers et éleveurs: évaluation des bénéfices réciproques et des conditions de réussites à l'échelle des systèmes (Rapport de fin d'étude) (p. 85). Institut de l'élevage: Université de Lorraine.
- de Moreas A., de Faccio Carvalho P.C., Anghinoni I., Campos Lustosa S., 2013. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*.
- Emery S.B., Franks J.R., 2012. The potential for collaborative agri-environment schemes in England: Can a well-designed collaborative approach address farmers' concerns with current schemes? *Journal of Rural Studies* 28(3), 218-231.
- Gertman M., 2006. Olivier Williamson et la théorie des coûts de transactions. *Revue Française de gestion* (160), 191-213.
- Hendrickson J.R., Hanson J.D., Tanaka D.L., Sassenrath G., 2008. Principles of integrated agricultural systems: Introduction to processes and definition. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 23 (Special Issue 04), 265-271.
- Hobbs J., 1997. Measuring the importance of transactions costs in cattle marketing. *American Journal of Agricultural Economics*, Volume 79 (4) 1083-1095.
- Lavastre O., 2001. Les coûts de transactions et Olivier E. Williamson: Retour sur les fondements. Présenté à X^{ième} Conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique, Université de Laval Québec.

Le Cadre A., 2015. La sécurisation des relations contractuelles entre exploitants céréaliers et éleveurs (Rapport de fin d'étude) (p. 75). Poitiers: Université de Poitiers.

Le Guen R., 2016. Les enjeux sociologiques de la complémentarité entre systèmes céréalier et d'élevage. Présenté à CEREL, Poitiers.

Lemaire G., Franzluebbbers A., de 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.

Lucas V., Gassel P., Thomas F., Vaquié P.F., 2014. Coopération agricole de production: quand l'activité agricole se distribue entre exploitations et action collective de proximité. *L'agriculture en famille: travailler, réinventer, transmettre*, 201-222.

Manteaux J., 2015. Fiches techniques: Complémentarité territoriale entre agriculteurs. Chambre d'agriculture Rhône-Alpes.

Meynard J.-M., Messéan A., Charlier A., Charrier F., Fares M., Le Bail M., Magrini M.B., 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières. Synthèse du rapport d'étude, INRA, 56.

Mischler P., Veyssset P., 2015. Vers des définitions partagées de la polyculture-élevage, rapport du séminaire n°1 octobre 2014 du RMT Systèmes de Polycultures Elevage (SPyCE)

Niehans J., 1971. Money and barter in general equilibrium with transactions costs. *Am. Econ. Rev.*, 61, 773-778.

Ouchi W.G., 1980. Markets, bureaucracies and Clans. *Administrative Science Quarterly*, 25(1), 129-141.

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.

Roussel J., 2008. Incertitude et coût de transactions: une relecture du modèle de Williamson. XVIIème Conférence de l'AIMS, May 2008, France.

Russelle M.P., Entz M.H., Franzluebbbers A.J., 2007. Reconsidering Integrated Crop–Livestock Systems in North America. *Agronomy Journal*, 99(2), 325-334.

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), 1722–1730.

Ryschawy J., 2017. Dynamix, un « jeu sérieux » pour concevoir des scénarios d'intégration culture-élevage à l'échelle du territoire : application en Ariège. Communication orale. Les polycultures-élevages : valoriser leurs atouts pour la transition agroécologique.

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(2), 139-153.

Soussana J.-F., Lemaire G., 2014. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, (190), 9-17.

Sulc R.M., Franzluebbbers A., 2014. Exploring integrated crop-livestock systems in different ecoregions of the United States. *European Journal of Agronomy*, 57, 21-30.

- Sulc R.M., Tracy B.F., 2006. Integrated Crop-Livestock Systems in the U.S. Corn Belt. *Agronomy Journal*, 99(2), 335-345.
- Veysset P., Lherm M., Bébin D., Roulenc M., 2014. Mixed crop-livestock farming systems: a sustainable way to produce beef? Commercial farms results, questions and perspectives. *Animal*, 8(8), 1218-1228.
- Widmarck C., Bostedt G., Andersson M., Sandström C., 2013. Measuring transactions costs incurred by landowners in multiple land-use situations. *Land Use Policy*, 30, 677-684.
- Williamson O.E., 1985. *The Economic Institutions of Capitalism: Firms Markets and Relational contracting*. The Free Press, A Division of Macmillan, INC., New York.

Synthèse

L'objectif de ce premier axe était d'identifier les freins et les leviers à la mise en place d'interactions culture-élevage à l'échelle de plusieurs exploitations à travers quatre exemples de coopérations. Les interactions culture-élevage telles qu'on les entend, représentent un large panel de pratiques et de modalités de gouvernances. Nous avons choisi ces quatre démarches parce qu'elles intervenaient sur des objets différents, avec des tailles d'exploitation et de groupe d'échange différents.

La première démarche portait sur le pâturage des dérobées par une troupe ovine d'une exploitation voisine, permettant à l'éleveuse d'avoir un stock supplémentaire de fourrages et de pouvoir pérenniser son exploitation. La seconde coopération réunissait trois GAEC avec 7 associés, qui ont mis en commun une surface de 700 ha. Le troisième cas présentait la valorisation de céréales et d'oléo-protéagineux produits pour l'alimentation animale par un céréalier en agriculture biologique, qui a choisi de se faire certifier organisme stockeur. Enfin, la dernière démarche étudiée décrivait une initiative de filières locales de tourteaux de soja non OGM et de foin de luzerne.

La liste de démarche n'est pas exhaustive au regard de la diversité de démarches existantes, cependant elle permet d'observer une diversité de cas avec des approches différentes. Pour certains l'échange se fait autour d'une ou plusieurs marchandises pour d'autres il y a une mutualisation d'outils de production comme des surfaces ou du matériel.

L'objet de l'échange a un impact significatif sur les coûts de transactions. L'implantation d'une nouvelle culture qui nécessite un équipement particulier (spécificité de l'actif) va demander des investissements spécifiques. C'est d'autant plus le cas quand il y a des transformations du produit échangé, par exemple la trituration du tourteau de soja. Le coût de transport est récurrent dans la plupart des démarches. L'ensemble des résultats de cette étude sont qualitatifs, ils ne donnent aucune estimation économique de ces coûts.

Lors de cette étude et dans la littérature, nous avons pu remarquer que les relations interpersonnelles sont prégnantes. Il est d'autant plus nécessaire d'avoir une représentation claire des coûts économiques, matériels et humains si l'on souhaite disperser ces pratiques. Il sera plus difficile d'étendre ces coopérations à des acteurs qui n'ont pas les réseaux nécessaires pour rencontrer des agriculteurs avec d'autres productions et pour qui le coût d'information pourrait être prohibitif. *Dans ce cas de figure*, les échanges, type filières courtes, sont des pistes à privilégier pour une mise en place plus facile de coopération.

Nous verrons dans les axes suivants, une manière de faciliter la mise en place de coopération en essayant de réduire les coûts d'information à l'aide de la modélisation en estimant les coûts d'intérêts de certaines marchandises. Dans l'une d'elle nous observerons également l'intérêt de coopérer avec un agent extérieur comme une coopérative, ce qui est communément retrouvé dans ces interactions.

Chapitre 4:

Modelling the value of straw/manure exchanges over the short and long term



Chapter 4 : Modelling the value of straw/manure exchanges over the short and long term

E. Thiery^{1,2,*}, G. Brunschwig², P. Veyssset², C. Mosnier²

¹ : AgroSup Dijon, 26, Boulevard Docteur Petitjean-CS 87999, F-21079 Dijon Cedex

² : Université Clermont Auvergne, VetAgro Sup, Inra, UMR Herbivores, 63122 Saint-Genès-Champanelle

Corresponding author: eglantine.thiery@agrosupdijon.fr

ABSTRACT

Organic matter is a key element of soil fertility, however the stocks of organic matter in specialized arable farm soils are in decline. Reintroducing organic fertilizers may be a way to increase or maintain the organic matter stock in soils. Straw/manure exchanges between arable farms and livestock farms could improve the overall fertility of the land and hence the long-term income of farmers. Our objective is to adapt a bio-economic model to estimate the agronomic and economic values of such exchanges as part of a soil fertility improvement strategy. The simulations take into account the effects of manure on the need for fertilizer via the mineralization of the manure, on crop yields, and on costs related to the transport and spreading of manure. The added values of this study are i) consideration of the value of manure beyond its short-term fertilizing value, ii) estimation of manure's economic and agronomic interest at farm level, iii) assessment of the impacts of unknowns on manure's effect and price.

The results show that it is profitable for a French conventional-system arable farm to purchase manure at a price between 10€/ton in the short term and 18€/ton in the long term. The results also show that it is always economically interesting for the livestock farm to sell some of its manure, even at low prices (around 1€/ton of dry matter). The difference between the 2 prices could cover the transaction costs of implementing cooperation.

The results obtained provide a broader view of the value of manure by taking into account several economic and agronomic factors of sustainability.

KEY WORDS

Bio-economic model, straw/manure exchange, organic matter, fertilization, soil fertility

1. Introduction

From the middle of the twentieth century, change in farm production systems led to the development of geographical regions specializing in certain agricultural products. In turn this led arable farms to use only synthetic fertilizers and simplify their rotations. This happened to such an extent that organic matter stocks in cultivated soils have fallen to critical levels (Loveland and Webb 2003). Organic matter is a ubiquitous indicator of soil fertility (Lal 2006), and Hijbeek et al (2017) explain that a low quantity of organic matter (less than 5%) leads to soil fertility problems - an inability to meet the physical, chemical, and biological needs of plants (Diacono and Montemurro 2010).

Several authors have observed a significant decrease in the stability of soil structure when the proportion of organic matter is less than 2% (Loveland and Webb 2003). Diacono and Montemurro (2010) show that a degradation of soil structure (a decrease in the stability of the aggregates), can lead to a reduction in water retention capacity and an increase in the risk of soil compaction, which together reduce the availability of nutrients. These degradations can have direct effects, like loss of income due to decreased crop yields, and indirect effects like tillage difficulties (Hijbeek et al 2017). According to Kimetu et al (2008), concern over income loss should prompt farmers to maintain a certain threshold of organic matter in their soil. One solution could be to return to part-organic fertilization. Regular application of organic fertilizer such as farmyard manure, or green manure can help increase soil organic matter (Diacono and Montemurro 2010). Local nutrient cycles (Schöder 2005), which used to operate in diversified production systems such as mixed farming, have broken down. Although reintroducing livestock farming to arable farms is not a realistic option, several authors assume that nutrient cycling is transposable to a scale larger than the farm. Operating at a regional scale makes it possible to take into account the interactions and synergies between different farms specializing in arable crops and livestock (Regan et al 2017; Ryschawy et al 2017; Moraine et al. 2017).

As part of the POEETE project which aims to rethink mixed crop/livestock farming at farm/regional scales, agricultural actors from the Burgundy region (France) are worried about their soil fertility and are seeking information about the interest of crop/livestock models to encourage farmers to commit themselves to manure exchange in the long term. Manure exchanges are poorly developed in this area, like in most French regions. There is no manure market, only some price recommendations made by some local technical institutes.

In this study we chose to study a farm-to-farm exchange as defined by (Asai et al 2018) as the simplest of partnerships between an arable farm and a livestock farm. These exchanges are commercial since the purpose of this study is to provide development actors with quantified information as a basis for discussion between cereal growers and livestock farmers. We discuss the price of interest (the price at which one commodity is purchased as a substitute for another without changing the economic gain) for manure, assuming that a part of the arable farm straw is sold. This study does not analyze the social relations between members of an exchange group, although they are a decisive factor in the establishment and maintenance of cooperation, as discussed in (Asai, 2013). However, the results of this study should reinforce the feeling of being in a win-win cooperation.

Digital modeling can eliminate the need for long-term experiments (over more than 10 years) to estimate the effects of manure and to aggregate different sets of knowledge inputs on biological, chemical, and economic processes across multiple operating systems. In this article, we adapt the ORFEE bio-economic model (Mosnier et al, 2017) to assess the agronomic and economic impacts of straw/manure exchange for both farms. This model does not simulate plant growth or carbon stock dynamics in soils, but uses results from other studies to take into account the impact of manure on soil fertility and crop yield. The model is applied to two farm types in Burgundy: an arable farm and a livestock farm.

In section 2 the model is described with the adaptations made for this research, and then the data used for model parameterization and the scenarios. In section 3 we look at the price range at which manure can be sold and farmers can gain benefit from setting up straw/manure exchanges. In section 4 a sensitivity analysis is carried out on several economic and agronomic variables with significant unknowns: humus mineralization, nitrogen content, labor cost, and straw price. In the last section the results are discussed and compared with the literature.

2. Materials and methods

In this section, following the description of the model used and its adaptations, the values of the agronomic and economic parameters used to simulate the agronomic and economic interest of straw and manure are presented. The range of values used in the sensitivity analysis to account for the impacts of the main agronomic and economic uncertainties are presented. In subsection 2.2 the simulated farms are described followed by the presentation of scenarios in subsection 2.3.

Participatory data collected from researchers, from field experts on biological processes and practices, and from field references was used. The farms for study, and the methods of interaction, were chosen after taking into account the expectations of the profession collected in community/group interviews with partner advisors practicing in Burgundy.

2.1. Description of the ORFEE model

2.1.1. Main points of model

The model used for this study is Optimization of Ruminant Farm for Economic and Environmental assessment (ORFEE) (Mosnier et al 2017). ORFEE is a bio-economic model which simulates the management of farms with one or more grazing livestock subsystems (beef cattle, dairy cattle, sheep) and a crop subsystem of cereals, oilseed crops and grasslands, for an average year, with a system in equilibrium.

In this study, ORFEE is used to optimize i) fertilizer applications according to crop acreage, crop yield, fertilizer type and price, crop succession, and soil characteristics, ii) animal diets according to animal protein and energy requirements, feed cost, and availability, to maximize an expectation-variance function: i.e. average net income over the period 2010–2015 revised downwards by its standard deviation over the period considered. Net income corresponds to farm net income minus opportunity cost of daily and seasonal work. We consider farm net income as the total output from crop and livestock production plus public subsidies from which we subtract operating costs, farm overheads, depreciation, rent, and interest paid. ORFEE estimates input consumption and output production, crop operations (labor, mineral and organic applications, etc.), machinery, buildings, and labor use to meet crop acreage and herd size needs, detailed economic results, and various environmental indicators.

2.1.2. Simulation of fertilization practices

Estimating the value of manure and straw

Manure contains a number of elements including nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) and carbon (C). The nutrients present in manure, also known as organic matter, are in simple

forms and complex forms. Simple forms are quickly assimilated by plants while complex forms are assimilated over a longer period (10 years). The type of manure, the amount, and the frequency of application have an impact on the proportion of nutrients available to the plant in the short term and in the long term through nutrient mineralization linked to microbial populations. The improvement of the soil structure enables microbial populations to thrive (Triberti et al 2008) and degrade the organic matter into mineral elements ready for uptake by plants. The values of manure used in our studies are short term P and K fertilizer values (the equivalence between compact manure and synthetic fertilizer are respectively of 0.1 and 0.7), short and long term nitrogen fertilizer values, and the overall effect through crop yield. The costs related to manure application are fertilizer, fuel, maintenance, and depreciation costs. Further details are given below. The price of the straw purchased is made up of 80% by the price of the straw sold and by 20% for the price of transport.

Assessment of crop nitrogen needs

Nitrogen needs are estimated in ORFEE by a simplified N mass balance equation for annual crops and alfalfa, and by the equation of nitrogen apparent working coefficient for grass. Equation 1 below, taken from the methodological guide for the calculation of nitrogen fertilization (COMIFER 2013), gives the crop requirements for nitrogen ($need_N$) (mineral and organic) as the difference between nitrogen exported (N_{exp}) by the plants (which depends on the proportion of nitrogen in the exported products) and the yield of the crop nitrogen balance in the soil. This balance is calculated at the end of an accounting period, (R_f) minus the nitrogen already consumed (P_i) (exclusively for winter crops) and the nitrogen present in the soil (R_i) at the start of the accounting period. The initial (R_i) and final (R_f) vary according to region and soil quality. This equation also takes into account the other nitrogen inputs in the soil–plant system, such as mineralization of humus (M_h), mineralization of crop residues (M_r), and mineralization after meadow ploughing (M_{hp}). The values of these parameters were defined according to the GREN (Regional Group of Nitrates Expertise) Bourgogne 2012 (Table 1).

$$\text{Equation 1: } need_N = (N_{exp} + R_f) - (P_i + R_i) - (M_h + M_{hp} + M_r)$$

Organic fertilization and the fate of crop residues, in this case straw, have an impact on the mineralization of humus. According to the literature, manure will only benefit soil organic matter stocks if applied at regular intervals and at a given amount. Ziegler and Heduit (1991) estimate that for an interval of more than 4 years between two applications of manure, the effect is negligible. In terms of quantity, the proposed quantities range from 7 tons per ha per year to 45 tons per ha over a longer time interval (Sleutel et al 2006). In this article, with the support of experts, we set the quantity of manure to be added at 24 tons every 2 years to maintain and increase the organic matter in the cultivated plots. Therefore, and following the guidelines on calculating nitrogen fertilization (COMIFER 2013) after 10 years of regular application of manure, an indirect effect is observed, the soil nitrogen availability increases and the added nitrogen requirement decreases. We thus defined two values for humus mineralization: the first corresponds to irregular inputs of organic matter or less than 3 years of application with a regular straw landfiling (33kg N/ha/yr), the second corresponds to regular long-term manure inputs and partial straw export (50kg N/ha/yr).

Decision about quantity of manure to spread

The manure used in this investigation is bovine compact manure from litter accumulated in straw bedding and whose characteristics are given in Table 1.

The model optimizes the amount of manure ($V_QManure$) to be added to each crop (c) and fertilizer mix (f). This quantity must meet the NPK requirements of each crop ($need_N$) multiplied by its area (V_Ha)

Equation 2 expresses the constraint that the quantity of manure to be added ($V_QManure$) multiplied by the amount of nitrogen taken up by the plants ($NManureVal$: 5kg N/t manure) and the rate of mineralization of the manure ($NManureMiner$: 10–25% depending on the crop) must be greater than or equal to the organic nitrogen ($Norga$) requirements of the crops ($need_N$) multiplied by the area of each type of crop (V_Hacrop_c). The nitrogen requirements were divided into organic nitrogen and inorganic nitrogen according to the fertilizer mix (0% organic to 100% organic).

Equation 3 specifies that the sum of the crops meeting minimum manure requirements according to fertilizer mix ($ManureQRespect$) should be at least equal to the utilized agricultural area multiplied by the minimum frequency of intake ($MinFreqManure$). As the model is static, with plot rotation at equilibrium, the temporal constraints are transformed into spatial constraints. In our case, there is a contribution of at least 24 tons of manure on at least half of the utilized agricultural area, (UAA).

Equation 2:

$$\sum_c V_Ha_{c,f} \times need_{N_{Orga},c,f}, \leq V_QManure_{c,f} \times NManureVal \times NManureMiner_c$$

Equation 3:

$$\sum_{c,f} V_Ha_{c,f} \times ManureQRespect_{c,f} \geq MinFreqManure \times UAA$$

Production cost related to fertilization practices

The operating expenses related to the crop subsystem are calculated based on the equipment used for fertilizer application. The duration of work done, fuel consumption, maintenance and depreciation costs, are taken from the Chambre d'Agriculture des Haut de France 2016 database.

The prices of the synthetic fertilizers used in the model, are taken from French agricultural statistics on the basis of the purchase price of agricultural inputs in France, the French overseas departments (IPAP), and of Arvalis (technical institute for crop production). The average price of these items over the period of (2010-2015) were 1.045€/kg for ammonium nitrate with 33.5% of nitrogen, 0.834€/kg for phosphorus chloride with 45% of phosphorus, and 1.017€/kg for potassium chloride with 60% of potassium.

Table 1: Data used for the simulation of straw/manure exchanges for farms in Burgundy

Parameter	Value	Source
Rf	20 kg N/ha	GREN Bourgogne 2012
Ri (cereals)	35 kg N/ha	GREN Bourgogne 2012
Ri (oil and protein crops)	40 kg N/ha	GREN Bourgogne 2012
Mr (cereals with straw buried)	-10kg N/ha	GREN Bourgogne 2012
Mr (cereals with straw extraction)	0 kg/ha	GREN Bourgogne 2012
Mh		GREN Bourgogne 2012 COMIFER 2013
For spreading at irregular or less-than-3-year interval	33 kg N/ha	
For regular long-term spreading	50 kg N/ha	
Mhp	70 kg N/ha	GREN Bourgogne 2012
N mineralization under cereals	0.1	GREN Bourgogne 2012
N mineralization under oil crop	0.2	GREN Bourgogne 2012
K Fertilizer mineralization	0.8	ARVALIS
Manure fertilizing value (N)	5	CORPEN
Manure fertilizing value (P)	3.2	CORPEN
Manure fertilizing value (K)	7	CORPEN
Manure transport cost	2.7 – 4.2€/t	'CEAFI Bassin Parisien & Nord 2007' list price
Straw price (bundled)	60-80 €/t	Livestock breeding reference system Inosys

Rf: mineral nitrogen quantity at the end of the accounting period

Ri: mineral nitrogen quantity at the start of the accounting period

Mh: soil humus mineralization

Mhp: mineralization link to pasture turnaround

Modeling other advantages of this practice

Several studies listed in Zavattaro et al (2017) show a potential gain in yield due to improvement in soil fertility (water retention, texture) and support the hypothesis that applying synthetic fertilization combined with organic fertilization will increase crop yields by 10% on average over the long term. However, their results highlight the influence of numerous soil and climate factors on expected yield increase, so we analyze manure values with and without crop yield increase.

2.2. Description of the farms modeled

2.2.1. Arable farm

The arable farm type studied is located in Saône-et-Loire (Burgundy, France) in the central east of France and is representative of the study area according to regional statistics and local experts. The climate of this area is continental, warm and temperate and usually this area does not experience periods of high water deficit. According to expert opinion we chose to model a typical arable farm of this area. The data used to simulate this test case are from national agricultural statistics. The farm type has 250 ha of utilized agricultural area with two work units

and a farm net income of 50k€ per work unit. A rotation oilseed rape-wheat-barley typical of the area was chosen. The choice of soil type, deep lime (12% clay, 0% limestone), was based on an average silt, representative of the area, with an organic matter content of less than 2%, which causes or will soon cause difficulties related to the lack of organic matter in the soil.

2.2.2. Livestock farm

The data used to model suckler cow operations are drawn from a farm type taken from the Inosys livestock farming systems network. We chose a specialized grassland area Charolais cattle farm producing fattened heifers. The 105 ha of UAA is divided into 11 ha of arable land with a wheat-barley-triticale rotation and 71 ha of permanent grassland, of which 52 ha are non-cut, and 19 ha are mown (grass silage and hay) and grazed. The crops grown are intended as on-farm feed for finishing the farm's cattle. 66 suckler cows are on the farm. The farm net income is 18k€ with one work unit.

This system is typical of our study area (Inosys livestock farming systems network, Charolais, Farm type 11041) and suitable for our study on crop/livestock initiatives. The area of our study is an animal breeding area with a medium density, and there is not a big excess of effluent. Depending on the configuration of the grassland and cultivated areas, and the manure produced, it is considered that the farmer can afford to sell part of his manure without degrading the organic matter stock in his soil. Like most farms of this type, it does not have enough cultivated area to be self-sufficient in straw for litter. The farm spreads all the manure produced on the farm (around 700 t). We consider that to maintain in-soil stocks of organic matter above 2%, 24 t manure should be applied per hectare of annual crops every two years and 10 t of manure on grasslands (Chabbi and Lemaire 2007).

The results concerning the outputs from these two farm simulations can usefully be combined to analyze the usefulness of establishing straw/manure exchanges between these two types of farms.

2.3. Scenarios and sensitivity analysis

Several scenarios are envisaged for each of the two farms. These scenarios aim to test different levels of organic fertilization. The quantity and type of fertilization are the variables optimized and rotations, crop yields, and herd size remain fixed in the scenarios. For the Long Term scenario described below, we will carry out sensitivity analyses on certain prices and agronomic parameters

2.3.1. Scenarios

According to the literature, the main key factors for successful exchanges between farms are geographical proximity, trust building, and equal sharing of value (Ryschawy et al 2018). For Asai (2013) exchanges are most often between people who are already in contact. However, these criteria limit the scope of action and spread of the practice. With this model we hope to provide quantified results to allow agricultural advisors to guide and convince farmers who do not practice exchanges. The main challenge for the farm is to know at what mutually acceptable price the arable farmer can buy manure to maintain soil fertility and the livestock farmer can sell his manure in exchange for straw. Our hypothesis is that the arable farmer and the livestock

farmer have an interest in exchanging manure on their farms if it is profitable for both. Our exchanges are always commercial, because we consider that most non-market exchanges take place between people who know each other (Asai et al 2014), and that farmers who do not know each other need a framework to engage in an exchange. In addition, straw and manure requirements do not necessarily meet the supply and demand of each farm. For these reasons, we only studied the exchange under commercial terms.

To assess a mutually acceptable price, we simulated increasing the price of compact manure from 0€/ton to 20€/ton and compared farm income including straw/manure exchanges with farm income excluding manure/straw exchange. For the arable farm, three scenarios were tested in addition to the control arable farm scenario (C_c) which assumes that the farm does not engage in straw/manure exchange and its straw is systematically buried. This practice may help maintain in-soil stocks of organic matter, but the degradation of straw residues does not give the same nitrogen availability as farmyard manure. The first and second scenarios assume regular intake of manure (at least 24 ton every 2 years) in the short term (ST) and the long term (LT), based on the assumption that long-term accumulation of organic matter permits better mineralization of humus (50kg N/ha/yr for the LT instead of 33kg N/ha/yr for the ST and (LT +)). In the third one, regular application of organic fertilizer over a long period is simulated with a 10% increase in crop yields.

For the livestock farm, we compared the control livestock farm for which all the manure is kept on the farm with a scenario that allows the farmer to sell some of their manure as long as the organic matter content in the soil remains above 2%, and replace it if necessary by synthetic fertilization.

The objective is to not decrease the stocks of organic matter in the livestock farmer's fields. We assume that the control livestock farm (C_L) spreads all the manure produced on the farm (around 700 ton). For the second scenario (MS), manure sale is allowed, with a minimum of manure spread constraint in order to not destock organic matter in the livestock farm soil. The initial structure of the typical case studied cannot accommodate applications of 24ton manure per hectare of UAA every two years. However, the majority of fields on this farm are grasslands. The literature shows that temporary grasslands accumulate significant amounts of organic matter (Chabbi and Lemaire 2007). It is estimated that an input of 10 ton of manure every two years may be sufficient to keep in-soil stocks of organic matter above 2%, especially as some of these areas are grazed. We assume the manure spreading is a long-term practice in the two scenarios, therefore soil humus mineralization equals 50kg N/ha/yr.

In these simulations, the price of the straw purchased is taken as 80% of the price of the straw sold and 20% on the price of transport. In the simulations presented here, the different cultivation operations (manure spreading, straw harvesting, etc.) are the responsibility of the arable farmer, but they could be divided differently between arable and livestock farmers.

2.3.2. Sensitivity analysis

Many of the indicators used may vary according to the context. In order to test the impact of these unknowns on our results, several sensitivity analyses were carried out: straw and mineral

N fertilizer price, humus mineralization, N fertilizer value of manure, crop yield, soil type and labor cost. The Long Term scenario was used to perform the sensitivity analyses.

Humus mineralization (Mh) is a function of the organic nitrogen stock in the soil, the mineralization rate and climatic context. The climatic conditions of temperature and hygrometry and the organic matter content are fixed, only the mineralization rate can vary. This variation is between 46kg and 58kg of mineralized nitrogen humus/ha/year. A range of 24kg to 65kg of mineralized humus nitrogen is typical for the French climate and soil type for an organic matter rate equal to 3%. For a given farm, it is considered that the soil type and yield potential of all the fields of the farm do not influence the price difference between the different scenarios.

The fertilizing value of manure depends on the animal species, herd feed, bedding type, manure management and treatments (Webb et al 2013). The average value used in the model is 5kg of nitrogen per ton of manure. Following Gueydon (1992), we tested a variation of 30% in N manure content, from 3.5kg/ton to 6.5kg/ton of manure.

We tested straw price variations of plus or minus 20% as observed between 2010 and 2015 in the French national statistics of agricultural producer price index IPPAP. We also ran a sensitivity analysis on the price of synthetic fertilizers by applying a variation of plus or minus 20% to the price of N, P and K mineral fertilizers.

The spreading of manure requires more work time than spreading synthetic fertilizers. For a quantity of 24ton of manure spread per ha the increase in working time simulated by the model is 1 hour per ha. We assume a labor cost of 16€/h for an agricultural employee (data from Chambre d'Agriculture des Hauts de France 2016).

3. Results and discussion

3.1. The interest of exchanges for an arable farm

3.1.1. Technical and economic results

As shown in Table 2, the application of organic fertilization (24 ton every two years) leads to a partial substitution of mineral fertilization. In the short term manure reduces the need for synthetic fertilizer applications of N by 5%, P by 57%, K by 58% compared to the control arable farm scenario. This reduction is much higher in the long term for N (a 21% reduction), thanks to the higher humus mineralization rate. The nitrogen fertilization substitution between ST and LT arable farm scenarios is 13%.

Table 2: Technical/economic results of fertilization practices in the different scenarios: ¹average fertilization on the crop and grassland area ² manure price at the barn door

	Crop farm				Livestock farm	
	C _{Crop}	ST	LT	LT+	C _{Livestock}	MS
	Technical results					
Farmyard manure (t/ha/yr)	0	12.35	12.15	12.12	8 (Grassland:5-Crop:27)	6 (G:5-C:13)
Farmyard manure produced (t)	-	-	-	-	719	719
Mineral N (kg/ha of crop)	163	148	128	150	55	59
Mineral P	52	30	33	32	0	4
Mineral K	39	23	28	22	0	0
	Economic results					
Price of manure ² (€/t)	0	11	11	11	0	11
Gross income (k€)	380	412	412	433	116	117
Fertilization costs ¹ (k€)	63	85	78	84	3	2
Gross operating surplus, GOS (k€)	196	202	207	217	51	52
Farm net income (k€/work unit)	50	50	51	56	21	22

Figure 1 shows the farm net income as a function of manure prices. In the short term, purchasing manure improves, or does not reduce, the net income compared to the control scenario, if the manure price is below 10€/ton. In a longer-term strategy, based on the assumption of an increase in the rate of organic matter mineralization (Schröder 2005), the farmer can buy the manure at up to 12€/ton to obtain an equivalent income.

Finally, based on the assumption that regular application of manure combined with synthetic fertilization can increase crop yield, the fourth scenario tested a 10% increase in crop yields (LT+) (Figure 1). We find a difference plus of almost 10 k€ in farm net income between the fourth scenario and the short-term organic and mineral fertilization scenario. In the short-term organic and mineral fertilization scenario, with a bigger gain from manure, the arable farmer can consider buying manure at up to 18€/ton to stay at an equivalent farm net income to the control.

These results show that under the conditions of this study, the arable farmer has an interest in buying manure to maintain stocks of organic matter in his fields at manure prices of around 10€/ton or even up to 18€/ton if we take into account situations where yields would be improved.

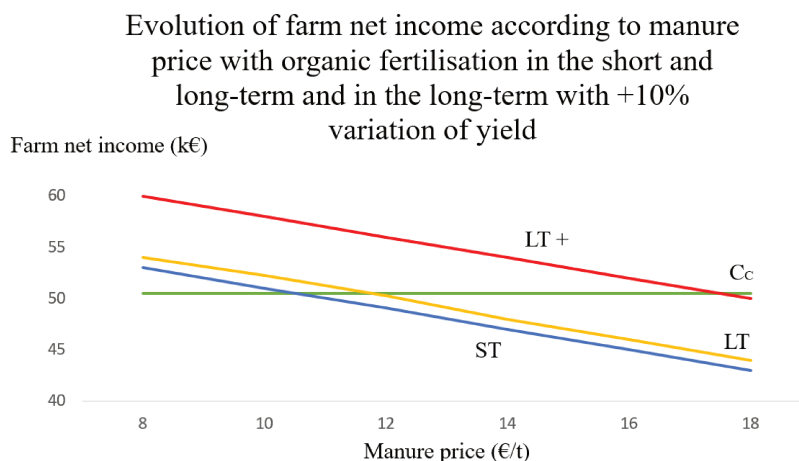


Figure 1: Crop-farm net income plotted against manure price accounting for Arable farm Control (Cc), short-term (ST), long-term effect (LT) and long-term effect with +10% yield variation (LT+)

3.1.2. Sensibility analyses

Selling about 500 tons of straw gives an increase in gross output of 8.4% relative to the control scenario. Based on the results shown in Figure 1, a 20% increase in the selling price of straw gives a 2.8% increase in farm net income compared to the ST scenario. The sensitivity analysis at plus or minus 20% of the price of straw gives a variation of about 0.57€ on the price per ton of manure, equivalent to 5% of the long term manure price.

The sensitivity analysis shows that for the range in humus mineralization of 46kg/ha/year to 58kg/ha/year, the variation in the price for the purchase of 1 ton of manure is 0.24€, and is between 11.25€ and 11.01€ (2% of the long term manure price). As can be seen in Figure 2, for the variation in the quantity of nitrogen contained in the manure of between 3.5kg/ton and 6.5kg/ton the reduction of N mineral input at long term could vary between -9.2% and -21.4%. This leads to a variation in the price of 0.13€. The analysis of the sensitivity of mineral fertilizer prices of plus or minus 20% gives a range in the price between 10.90€ and 11.67€.

If we consider the cost of additional manure spreading work at 16€/hour (Chambre d'Agriculture des Haut de France 2016), we can estimate that the cost of the procedure increases by 16€/ha or 0.66€/t of manure. This amount would have to be added to the cost of the manure if it is the arable farmer who carries out the spreading.

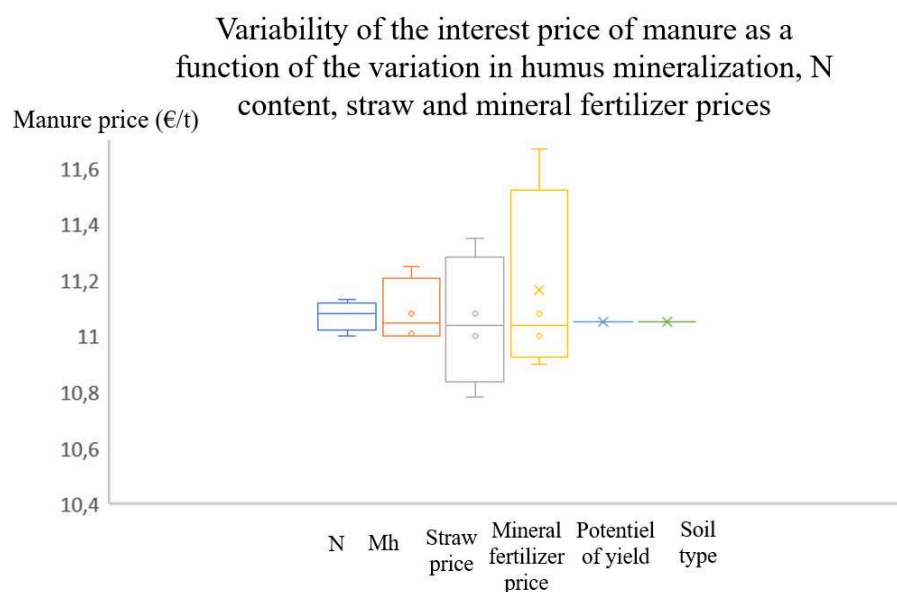


Figure 2: Box plot representation of the variability of the price of manure as a function of the variation in humus mineralization (Mh), the amount of nitrogen per ton of manure (N), the price of straw and mineral fertilizers.

3.2. The interest of the exchanges for the Livestock farm

The livestock of the case study produce about 700 tons of compact manure each year. To remain in sustainable conditions and in compliance with the recommendations, the livestock farmer can sell a maximum of 15% of the manure produced. The sale of manure is compensated by an increase in synthetic fertilization for cropped areas of 4kg/ha nitrogen and 4kg/ha phosphorus (Table 2). For all surfaces, the manure is sufficient to meet potassium requirements.

If this manure is sold (MS), there is an increase in the gross income (Table 2), but also an increase in fertilization cost. Nevertheless, the gain given by the additional manure sales makes it possible to increase the farm net income. Also, the change in fertilization makes a difference on cultivated areas which receive more synthetic, but there is no difference in the fertilization of the grassland areas which account for a majority of the farm's area. Figure 3 suggests that selling this share of manure makes economic sense in this configuration. According to the results of this simulation, the sale appears economically profitable, even when manure prices are very low, 1€/ton of manure or free of charge, since the quantities applied make it possible to keep a sufficient stock of organic matter and the spreading of farm manure has a higher cost than synthetic fertilization. In this simulation, the costs for the spreading of manure, spreading synthetic fertilizers, and the cost of the materials spread are taken into account. For the livestock farm, it is considered that there cannot be an improvement in soil quality since the organic matter stock is already sufficient. However, no transaction costs for this manure are taken into account.

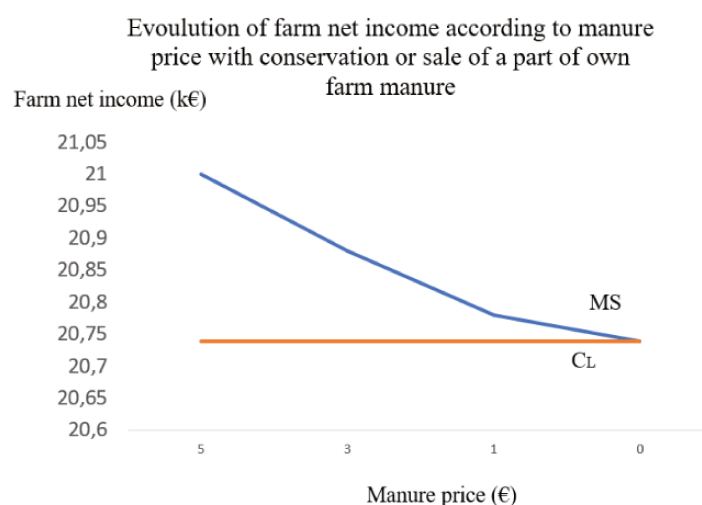


Figure 3: Livestock farm net income plotted against manure price in different scenarios

The sensitivity analysis of the selling price is only very slightly influenced by variations in Mh, N content, and variations in straw and mineral fertilizer prices, since for the livestock farm the possibility of selling manure remains of little interest in relation to the quantity produced and used.

3.3. Possibility for straw/manure exchange

It appears that the arable farmer would be ready to buy manure at up to 12€/ton as part of a strategy of increasing soil organic matter and improving soil fertility in the long term (LT). For the livestock farmer, under the simulation conditions, it would be possible to sell manure for up to 1€/ton or give it for free. The simulations show a difference of 11€ between an acceptable selling price of manure for the livestock farmer and an acceptable purchase price for the arable farmer. This difference should make it possible to cover the transaction costs linked to the exchange: organizational costs, transport logistics, etc.

3.3.1. Organic input value according to contextual setting

The value given to farm fertilizers varies with local contexts and regulatory constraints. We show that the price varies by +/-5% if the fertilizer price varies by +/-20%. In areas of the world where synthetic fertilizers are inexpensive and provide high yields, manure loses its interest, and therefore its value to farmers. In areas with a structural surplus in livestock manure, such as the Netherlands, northern Germany or Brittany, farmers are now willing to pay to dispose of their livestock manure. This was not always the case, de Wit et al (1997) show that in the late twentieth century, in many developing countries, farm manures were considered valuable fertilizers and valued as much as milk or meat. Organic farmers have also a big interest in farm manure, since they cannot use synthetic fertilizers. They are therefore willing to pay for manure or other organic fertilizers. For example, Ryschawy et al (2018) propose a price of manure between 15€ and 20€ to satisfy both the livestock farmer and the arable farmer. In our

simulations, the possibility of low-cost synthetic fertilization reduces slightly the value of manure.

3.3.2. Transport costs

In the transaction costs of the livestock/arable farm exchange, transport is an important expense. Manure is a bulky material which is difficult and expensive to transport, and several authors state that the interest of using manure is limited to within “5 minutes around the barn” (Russelle et al 2007), or 5 km (Asai 2013). This distance may be longer for organic farms (Asai 2013).

According to transport specialists the cost of manure transport is approximately 2.7€/ton for a distance travelled of 5-10 km and 4.2€/ton for 30 km.

The livestock farm/arable farm value difference of 11€/ton could cover transport costs for distances longer than 30 km.

Effluent treatments, such as drying, can also facilitate transport over longer distances, and so enable a better distribution (Asai et al 2018). According to the technical institutes composting reduces spreading costs depending on the organization of the site and the field, and reduces the cost of transport, but has a processing cost of about 1€/ton of composted manure.

3.3.3. The social dimension of the exchange

Our model only takes into account the economic interest of carrying out this practice. However, the social dimensions must also be taken into account in the functioning of the exchange. In these exchange social relations are essential for success over time. Several studies have highlighted the critical success factors as trust, geographic proximity, and shared of ethical values (Asai et al 2018; Moraine et al 2017). Ryschawy et al (2018) chose to use these key success factors as criteria to select the farmers most likely to participate in an exchange and to build with them this exchange.

According to Asai (2013), farms with large herds and large areas find it harder to create a stable partnership with complementary farm. Contracts could be set up to help stabilize trade. Setting up a formalized contract can clarify the expectations and create trust. An intermediary with the necessary equipment and resources to handle transactions and logistics would be a good alternative for setting up these exchanges, the only real limit being the cost of this additional stakeholder.

In our simulation, we considered monetary exchanges. However, Asai (2013) shows that in Denmark 80% of straw/manure exchanges are non-monetary. In this study, we estimate the manure price which would make an exchange of interest. This economic value could also be used to give straw-to-manure equivalence. In our example, simulations take into account straw baling and manure spreading operations, if we do not take into account the transport costs for each of the materials we obtain a ratio of 1ton of straw to 5ton of manure for LT and 1ton to 3ton of manure for LT+. According to technical information from the north of France, the straw-to-manure equivalence is between 2ton and 1.2ton of manure for 1ton of straw depending on

whether the manure is sold from the barn or spread. In other regions of France, according to local data, it can be 1ton of straw to 4ton of manure.

3.3.4. *Complementary solutions to cattle manure*

Other organic inputs could be considered for increasing soil organic matter and improving soil fertility over the long term. Other types of farm manure, such as compost or slurry, might also be used to meet the needs of arable farms. The area studied has a broad diversity of livestock farms and systems, with a potential balance between the systems (dairy cattle systems, granivorous systems) and the types of effluents produced (slurry from cattle or pigs, bovine compost). The introduction of plant cover or green manures in rotation, for example, can increase the efficiency of plant nutrient use, primarily by increasing the activity of microbial populations (Triberti et al 2008). Fusch et al (2014) highlighted the interest of a set of fertilizing materials of waste origin, such as sewage sludge from sewage treatment plants or waste from the agri-food industry.

4. Conclusion

In this study, we estimated with the bioeconomic model ORFEE prices of interest for manure, assuming that a part of the arable farm straw is sold. The lack of economic references for straw/manure exchange limited the information about the exchange between specialized arable and livestock farms. The exploration of different scenarios made possible by the optimization model offers new avenues for reflection and discussion about the value of straw/manure exchanges, which is particularly interesting in terms of the physical and biological fertility of the soil.

In the context of our simulation, it is financially interesting for arable farmers to buy and use manure at prices up to 10€/ton, and for livestock farmers to sell a portion of their manure (not more than 20%) at prices as low as 1€/ton. Arable farms and livestock farms thus have the possibility to reach agreement and to cover other costs including transport, extra work-time, organization and negotiation of straw/manure exchanges.

The price of interest for manure is 18€/ton under the assumption that regular application of organic matter increases the mineral nitrogen availability in soils, and so crop yields in the long term. The sensitivity analysis performed shows that this price is not sensitive to crop yield potential. The potential variations of synthetic nitrogen fertilizer, straw price, labor cost, nitrogen content of manure, and mineralization of humus in the studied area do not change this price by more than 0.7€/ton. Some impacts of manure have not been taken into account, such as easier tillage, reduced sensitivity to drought and higher carbon storage, which may give a higher value to manure. On the other hand, the manure smell, and the pathogens, and weed seeds contained in manure may have a negative effect on manure values.

The manure/straw trade is a centuries-old practice, but even today there are still many doubts about it and no one has tried to predict its effect in a quantified way. Closing nutrient cycles is one of the levers on the road to an agro-ecological transition. It seems important to equip agricultural advisors with information to support farmers in using alternatives to synthetic fertilization, while at the same time improving soil fertility and regional autonomy. Organic

fertilization by manure or other organic residues represents a sufficiently important environmental benefit that it should be addressed by government policies. Support should be considered for this type of practice to facilitate transactions between farmers.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the development-project agents: Denis Chapuis, Antoine Villard, Christine Bouilly and Joris Deville who participated in the collective workshop and proposed their expertise to help validate certain data from the study. We also thank Sylvie Recous, Gwenaëlle Lashermes, Sabine Houot and Bernard Nicolardot for their valuable expertise on nitrogen dynamics data and manuring recommendations. We finally thanks Geoffrey Phillips for his revision of the English version of this paper.

REFERENCES

- Asai, M., 2013. Understanding collaborative partnerships between farmers: the case of manure partnerships in Denmark. Department of Plant and Environmental Sciences, Faculty of Science, University of Copenhagen.
- Asai, M., Moraine, M., Ryschawy, J., de Wit, J., Hoshide, A.K., Martin, G., 2018. Critical factors for crop-livestock integration beyond the farm level: A cross-analysis of worldwide case studies. *Land Use Policy* 73, 184–194. doi:[10.1016/j.landusepol.2017.12.010](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.010).
- Chabbi, A., Lemaire, G., 2007. Rôle des matières organiques des prairies dans le cycle de l'azote et impacts sur la qualité de l'eau.
- Chambre d'Agriculture des Haut de France 2016, Barème d'entraide : coût d'utilisation de 600 matériels l'Oise agricole <https://hautsdefrance.chambres-agriculture.fr/exploitation-agricole/gerer-son-exploitation/fermages-baremes/bareme-entraide/> last consultation on June 24, 2019
- Charolais, Farm type 11041, 2015 <http://idele.fr/rss/publication/idelesolr/recommends/dossier-cas-types-bovins-allaitants.html> last consultation on June 24, 2019
- COMIFER : Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée, 2013. Calcul de la fertilisation azotée : guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales : cultures annuelles et prairies.
- de Wit, J., van Keulen, H., der Meer, H.G., Nell, A.J., 1997. Animal manure: asset or liability? *World Animal Review* 88, 30–37.
- Diacono, M., Montemurro, F., 2011. Long-Term Effects of Organic Amendments on Soil Fertility, in: Lichtfouse, E., Hamelin, M., Navarrete, M., Debaeke, P. (Eds.), *Sustainable Agriculture Volume 2*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 761–786. doi:[10.1007/978-94-007-0394-0_34](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0_34).
- Fusch, J., Générmont, S., Houot, S., Jardé, E., Ménasseri, S., Mollier, A., Morel, C., Parnaudeau, V., Pradel, M., Vieublé, L., 2014. Effets agronomiques attendus de l'épandage des Mafor sur les écosystèmes agricoles et forestiers Final report of the Collective Scientific Expertise "Fertilizing Substances of Waste Origin" October 2014, 364-536.
- Gueydon, C., 1992. Variations de la valeur fertilisante des fumiers et lisiers de bovins. Influence de la complémentation, du niveau de production et du type de déjections animales. *Fourrages* 59–71.

- Hijbeek, R., Cormont, A., Hazeu, G., Bechini, L., Zavattaro, L., Janssen, B., Werner, M., Schlatter, N., Guzmán, G., Bitttebier, J., Pronk, A.A., van Eupen, M., van Ittersum, M.K., 2017. Do farmers perceive a deficiency of soil organic matter? A European and farm level analysis. *Ecological Indicators* 83, 390–403. doi:[10.1016/j.ecolind.2017.08.023](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.023).
- Index IPPAP, <http://agreste.agriculture.gouv.fr/thematiques/prix-indices-887/> last consultation on June 24, 2019
- Keplinger, K.O., Hauck, L.M., 2006. The economics of manure utilisation: model and application. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, western agricultural Economics Association 31, 414–440.
- Kimetu, J.M., Lehmann, J., Ngoze, S.O., Mugendi, D.N., Kinyangi, J.M., Riha, S., Verchot, L., Recha, J.W., Pell, A.N., 2008. Reversibility of Soil Productivity Decline with Organic Matter of Differing Quality Along a Degradation Gradient. *Ecosystems* 11, 726.
- Lal, R., 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation & Development* 17, 197–209. doi:[10.1002/ldr.696](https://doi.org/10.1002/ldr.696).
- Loveland, Webb, 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil and Tillage Research* 70, 1–18.
- Moraine, M., Melac, P., Ryschawy, J., Duru, M., Therond, O., 2017. A participatory method for the design and integrated assessment of crop-livestock systems in farmers' groups. *Ecological Indicators* 72, 340–351. doi:[10.1016/j.ecolind.2016.08.012](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.012).
- Mosnier, C., Duclos, A., Agabriel, J., Gac, A., 2017. Orfee: A bio-economic model to simulate integrated and intensive management of mixed crop-livestock farms and their greenhouse gas emissions. *Agricultural Systems* 157, 202–215. doi:[10.1016/j.agsy.2017.07.005](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.07.005).
- National agricultural statistics: <http://agreste.agriculture.gouv.fr/> last consultation on June 24, 2019
- Regan, J.T., Marton, S., Barrantes, O., Ruane, E., Hanegraaf, M., Berland, J., Korevaar, H., Pellerin, S., Nesme, T., 2017. Does the recoupling of dairy and crop production via cooperation between farms generate environmental benefits? A case-study approach in Europe. *European Journal of Agronomy, Farming systems analysis and design for sustainable intensification: new methods and assessments* 82, 342–356. doi:[10.1016/j.eja.2016.08.005](https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.08.005).
- Risse, L.M., Cabera, M.L., Franzluebbers, A.J., Gaskin, J.W., Gilley, J.E., Killorn, R., Radcliffe, D.E., Tollner, W.E., Zhang, H., 2001. Land Application of Manure for Beneficial Reuse. White Papers on Animal Agriculture and the Environment, National Center for Manure and Animal Waste Management and MidWest Plan Service.
- Russelle, M.P., Entz, M.H., Franzluebbers, A.J., 2007. Reconsidering Integrated Crop–Livestock Systems in North America. *Agronomy Journal* 99, 325–334. doi:[10.2134/agronj2006.0139](https://doi.org/10.2134/agronj2006.0139).
- Ryschawy, J., Martin, G., Moraine, M., Duru, M., Therond, O., 2017. Designing crop–livestock integration at different levels: Toward new agroecological models? *Nutr Cycl Agroecosyst* 108, 5–20. doi:[10.1007/s10705-016-9815-9](https://doi.org/10.1007/s10705-016-9815-9).
- Ryschawy, J., Moraine M., Péquignot M., Martin G., 2018. Trade-offs among individual and collective performances related to crop-livestock integration among farms: a case study in southwestern France. *Organic Agriculture*
- Schröder, J., 2005. Revisiting the agronomic benefits of manure: a correct assessment and exploitation of its fertilizer value spares the environment. *Bioresource Technology*, The

- 10th International Conference on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture 96, 253–261. doi:[10.1016/j.biortech.2004.05.015](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.05.015).
- Sleutel, S., De Neve, S., Németh, T., Tóth, T., Hofman, G., 2006. Effect of manure and fertilizer application on the distribution of organic carbon in different soil fractions in long-term field experiments. *European Journal of Agronomy* 25, 280–288. doi:[10.1016/j.eja.2006.06.005](https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.06.005).
- Tiberti, L., Nastri, Giordani, Comellini, Baldoni, Toderi, 2008. Can mineral and organic fertilization help sequester carbon dioxide in cropland? - ScienceDirect. *European Journal of Agronomy* 29, 13–20.
- Webb J., Sorensen P., Velthof G., Amon B., Pinto M., Rodhe L., Salomon E., Hutchings N., Burczyk P., Reid J., 2013. An Assessment of the Variation of Manure Nitrogen Efficiency throughout Europe and an Appraisal of Means to Increase Manure-N Efficiency. *Advances in Agronomy* 119, 371- 442.
- Zavattaro, L., Bechini, L., Grignani, C., van Evert, F.K., Mallast, J., Spiegel, H., Sandén, T., Pecio, A., Giráldez Cervera, J.V., Guzmán, G., Vanderlinden, K., D'Hose, T., Ruyschaert, G., ten Berge, H.F.M., 2017. Agronomic effects of bovine manure: A review of long-term European field experiments. *European Journal of Agronomy* 90, 127–138. doi:[10.1016/j.eja.2017.07.010](https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.07.010).
- Ziegler, Heduit, 1991. Engrais de ferme : valeur fertilisante, gestion, environnement. Institut Technique du Porc.

Synthèse

L'objectif de cette partie était de déterminer l'intérêt économique pour un éleveur et un céréalier d'échanger de façon marchande du fumier et de la paille.

L'utilisation du modèle bioéconomique ORFEE, nous a permis de calculer un prix du fumier selon une estimation des gains à court et long terme liés à l'épandage régulier de fumier sur des parcelles cultivées. Nous avons également estimé le prix d'intérêt pour un éleveur de vendre une partie de son fumier sous la contrainte de ne pas déstocker de matière organique dans ses sols. Pour ces simulations nous avons utilisé deux fermes fictives représentatives d'exploitations du département de la Saône et Loire : un cas-type élevage bovins viande et une ferme moyenne de grandes-cultures.

Selon la littérature, une application régulière de fumier permet une augmentation de minéralisation de la matière organique et l'amélioration de la structure des sols, offrant une diminution des besoins en fertilisation et une amélioration notable des rendements. Nous avons pris en compte l'effet à court terme du pouvoir fertilisant du fumier et sur le long terme de l'augmentation de la fourniture d'azote par le sol via la minéralisation de la MO et nous avons également testé sur long terme l'effet d'une augmentation des rendements. Selon l'horizon considéré, le céréalier a intérêt à acheter le fumier entre 10 et 17€/t et à vendre une partie de sa paille au lieu de l'enfourir. Les prix du fumier et de la paille sont indépendants. L'éleveur peut vendre, voire céder, 20% de son fumier sans perte économique. Cependant dans ce calcul le transport d'une exploitation à l'autre n'est pas pris en compte, seul l'épandage est compris (à la charge du céréaliers).

L'analyse de sensibilité, montre que le prix du fumier que nous avons estimé est peu sensible à la quantité d'azote contenue dans le fumier mais plus sensible à la vitesse de minéralisation de l'humus, au prix de la paille et en particulier aux prix des fertilisants de synthèse



Chapitre 5 :

Intérêts de la mise en place d'une filière foin de luzerne contractualisée par une coopérative pour valoriser les complémentarités plaine-montagne

Chapitre 5 : Intérêts de la mise en place d'une filière foin de luzerne contractualisée par une coopérative pour valoriser les complémentarités plaine-montagne

1. Introduction

Depuis la seconde moitié du 20^{ème} siècle, la modernisation de l'agriculture en France et plus largement en Europe, a conduit à une spécialisation des exploitations agricoles et des territoires. L'utilisation des nouvelles technologies (notamment en machinisme) et le recours aux fertilisants chimiques, en substitution des fertilisants organiques ont favorisé l'abandon des élevages dans les zones où la fertilité des sols était suffisamment élevée pour assurer une bonne rentabilité des grandes cultures (Chatellier et Gaigné 2012).

L'organisation et la segmentation élevée des filières agricoles, confortées par la recherche et le développement (Gliessman 2015) ont engendré des déséquilibres et une ouverture des cycles des nutriments. Ceci a induit des externalités négatives. D'une part, sur la pollution de l'environnement, l'utilisation d'engrais de synthèse a par exemple des effets négatifs sur la qualité de l'eau et la diminution de la fertilité des sols par le déstockage de matière organique. D'autre part, ce phénomène conduit à des dépendances aux engrais de synthèse ainsi qu'aux importations de matières premières riches en protéines. En effet, aujourd'hui l'Union européenne ne consacre que 3% de ses terres arables à la culture de protéagineux et importe plus de 75% de son approvisionnement en protéines végétales, majoritairement en provenance du Brésil, de l'Argentine et des Etats-Unis.

Depuis les années 1970, l'abandon de l'élevage dans des bassins de production spécialisés en grandes cultures a entraîné la disparition des légumineuses fourragères du paysage français (Magrini et al. 2016). Elles représentaient 3 millions d'ha (3 Mha) en 1960 pour seulement 0,32 Mha en 2000 (Pflimlin et al. 2003) et 0,27 Mha dans le RGA 2010. Pourtant les légumineuses fourragères, notamment la luzerne, sont reconnues pour leurs intérêts agronomiques. Sa propriété de croître en symbiose avec des microorganismes (*rhizobium sp*) lui permet de capter l'azote atmosphérique, ce qui la rend autonome en fertilisation azotée et réduit les apports pour la culture suivante (Cernay et al. 2018). D'autre part, son développement pluriannuel permet une amélioration de la culture suivante (Bennett et al. 2012 ; Sneider et al. 2015), via une coupure du cycle des adventices (Jeuffroy et al. 2015 ; Meiss et al. 2010 ; Deytieux et al. 2012) et des pathogènes, mais également par l'amélioration de la structure du sol (Nemecek et al. 2008). Cette culture offre aussi une bonne couverture du sol et elle permet aussi de prévenir son érosion. De plus, l'introduction d'une nouvelle culture dans la rotation offre une diversification, moyen efficace d'augmenter la durabilité du système (Meynard et al. 2013).

Conscientes que les protéines végétales sont au centre des enjeux de sécurité et de souveraineté alimentaire aussi bien humaine qu'animale, mais également au cœur des enjeux environnementaux, les politiques publiques ont mis en place en 2015 un soutien communautaire à la production de légumineuses.

Cependant, pour des céréaliers en agriculture conventionnelle, la culture de luzerne est moins intéressante sur le plan économique que les cultures dominantes (blé, maïs, oléagineux). Les légumineuses sont en général peu compétitives par rapport aux céréales, en particulier si l'indicateur de comparaison est la marge brute (Preissel et al. 2015). Les travaux de Jouan et al. (2019) montrent deux facteurs explicatifs du manque d'attractivité des légumineuses : le coût d'opportunité et les coûts de transactions. Le coût d'opportunité est le manque à gagner potentiel entre deux investissements, ou dans le cas présent entre deux cultures. Il correspond à la perte économique à laquelle l'agriculteur consent en affectant ses ressources disponibles à un autre usage, et en particulier, à l'implantation de luzerne à la place des cultures de son assolement initial. Les coûts de transaction sont liés à un échange économique. Ils s'inscrivent dans le cadre de la théorie des organisations (Williamson 1985). Ces coûts sont d'autant plus élevés que la filière est peu ou pas organisée.

La culture de luzerne, comme toute nouvelle culture, ou plus exactement comme une culture oubliée que l'on redécouvre, entraîne de nombreuses contraintes aussi bien au niveau des connaissances techniques, que de l'équipement d'implantation et de récolte, ou de la charge de travail. Bien qu'elle demande peu d'intrant, la luzerne nécessite plusieurs récoltes par an. Par ailleurs, les légumineuses sont considérées, par les agriculteurs, comme des cultures plus à risques que les autres cultures (Jouan et al. 2019). D'une part, parce qu'il n'existe pas de marché structuré, les débouchés sont incertains. Il ne reste sur le territoire français qu'un nombre restreint d'usines de déshydratation. D'autre part, pour obtenir une bonne qualité de fourrage, les modes de conservation (hors déshydratation) requièrent une technicité importante. De plus, contrairement à la luzerne déshydratée, les fourrages de luzerne ne possèdent pas de marché organisé. Enfin le stockage et le matériel de récolte sont différents des équipements habituels d'une exploitation en grande-culture. Une gestion collective peut lever certains de ces verrous, au niveau de la production, des compétences et des capacités d'investissement (Moraine 2015).

Les légumineuses fourragères présentent également des intérêts pour l'alimentation animale. Elles permettent de réduire la dépendance aux protéines importées et améliore la traçabilité des produits animaux (Peyraud et al. 2014). Leur teneur élevée en matières azotées totales et en minéraux à tous les stades de végétations et leur ingestibilité 10 à 15% plus élevée que celles des graminées en font une alternative aux tourteaux.

Selon les travaux de Moraine (2015), la collaboration avec un intermédiaire comme une coopérative est un moyen d'investir dans l'équipement et le conditionnement, ceci permettant de sécuriser et de répondre aux exigences de qualité attendues pour cette culture. Les coopératives possèdent une capacité logistique pour la création de filières ainsi que pour la gestion de contractualisation, cela peut permettre de pérenniser la filière et de créer un équilibre entre l'offre et la demande. Ces possibilités peuvent encourager les agriculteurs à cultiver et utiliser la luzerne. Selon Charrier et al. (2013) un contrat avec une garantie de prix aide à la dispersion et la diversification des cultures. Jouan et al. (2019) ont étudié les coûts de transaction de plusieurs contrats sur des légumineuses à graines et fourragères. En premier lieu, les contrats de commercialisation sont communément utilisés en filière végétale, ils détaillent les conditions de vente d'une marchandise. Il existe plusieurs modalités tarifaires

(prix fixés, marché à terme...). Ce type de contrat offre l'assurance d'un prix pour le producteur et d'un volume pour l'acheteur. Le deuxième type de contrat communément usité en production végétales et étudié par Jouan et al. (2019) est le contrat de production. Celui-ci définit les modalités de production de la marchandise en plus des conditions de vente, ce qui assure aux collecteurs d'avoir un meilleur contrôle de la qualité du produit. L'ensemble des légumineuses étudiées dans ce travail avaient déjà un marché plus ou moins établi. Dans notre étude la luzerne sous forme de foin n'est pas organisée par un marché, il est donc plus complexe de créer un contrat pour ce type de marchandises.

Malgré les aides publiques et de nombreuses initiatives locales, les surfaces en culture de légumineuses n'augmentent pas, voire diminuent. Pour permettre de proposer des estimations économiques des prix d'intérêt de vente et d'achat du foin de luzerne dans un contexte donné, notre objectif était de réaliser des simulations, à l'aide d'un modèle d'optimisation bioéconomique.

Notre étude était menée dans le cadre d'un projet de recherche-action pour et sur le développement régional dans la version PSDR 4, et dans les régions Bourgogne-Franche-Comté et ancienne région Rhône-Alpes. Ce projet visait à identifier, à caractériser les systèmes de polyculture-élevage à l'échelle de l'exploitation et du territoire et à optimiser leur fonctionnement. Ceci nous a conduit à nous intéresser à la mise en place d'une filière foin de luzerne alliant les exploitations céréalières de la plaine avec les exploitations en élevage de piedmont et montagne en région Rhône-Alpes.

Nous avons cherché à déterminer à partir de quel prix de vente du foin de luzerne le céréalier était intéressé pour implanter de la luzerne dans son assolement sans dégrader son revenu moyen dans le contexte de prix et de rendement de 2010 à 2017. Les risques associés ont été analysés ; l'impact d'un contrat pluriannuel comportant un engagement sur les prix et les volumes ainsi que sur les choix de production et sur la variabilité du revenu a été testé pour différents niveaux d'aversion au risque. La même démarche a été effectuée pour les exploitations d'élevage.

2. Matériel et méthode

Pour réaliser cette étude nous avons utilisé le modèle ORFEE décrit dans la partie 2.1. Pour mener une expérience *in silico* et pour comparer des échanges avec ou sans contrat par rapport à un témoin sans échange, nous avons représenté, lors de simulations, deux exploitations fictives.

2.1. Présentation générale du modèle

Le modèle bioéconomique ORFEE (Optimization of Ruminant Farm for Economic and Environmental assessment (Mosnier et al. 2017) permet de simuler le fonctionnement optimal, sous contraintes, d'une exploitation avec un ou plusieurs ateliers d'élevage de ruminants et des ateliers de cultures de céréales et d'oléo-protéagineux ainsi que de plantes fourragères et de prairies.

La fonction optimisée du modèle est de type Espérance-Variance. Le modèle optimise le revenu net moyen de l'exploitation sur la période 2010-2017 avec une pénalité de l'écart type du

revenu sur la période considérée ou sur les revenus en deçà d'un revenu minimum. Le revenu net correspond au résultat courant⁵ auquel est retiré le coût du travail d'astreinte et de saison évalué à un SMIC brut⁶. La variabilité économique simulée sur une période provient, pour un même système d'exploitation, des différentes politiques publiques mises en œuvre, des fluctuations des prix du marché et des rendements des cultures. Le système de production est à l'équilibre c'est-à-dire que la composition du troupeau, l'assolement et les amortissements des machines sont les mêmes quelle que soit l'année. En revanche, la production végétale, l'achat d'aliment, les rations des animaux et les stocks de foin peuvent être adaptés chaque année en fonction des conditions climatiques et des prix (Figure 1).

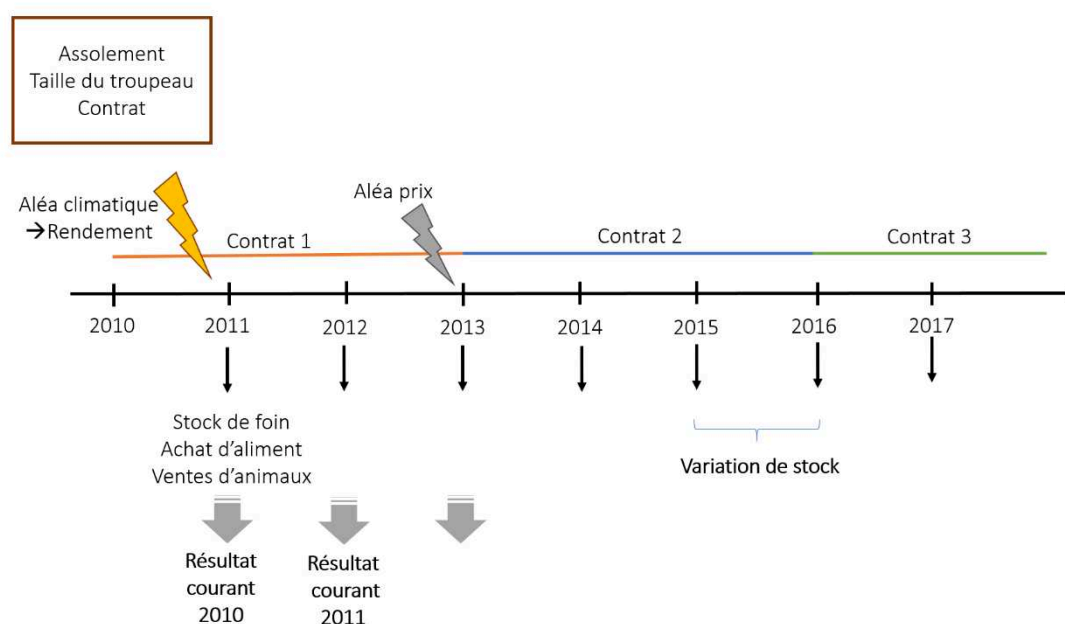


Figure 1 : Schéma de la chronologie des prises de décisions dans le modèle ORFEE

Le modèle fonctionne sur un pas de temps mensuel pour les opérations culturales et l'évolution du troupeau. Afin de tenir compte de l'évolution des prix du fait de l'inflation, tous les prix des productions et des intrants sont exprimés en euros constants 2010.

Le modèle est composé de plusieurs modules en interaction les uns avec les autres. Le module troupeau, prend en compte les besoins alimentaires des animaux en fonction du type d'animal et de son niveau de production. D'après les équations INRA (INRA, 2007), ces rations alimentaires sont calculées chaque mois pour chaque type d'animal en fonction des aliments disponibles sur l'exploitation et des achats autorisés. Le modèle contient également un module culture, qui calcule des besoins en éléments minéraux en fonction du rendement des cultures

⁵ Résultat Courant = Ventes de produits animaux et végétaux + subventions publiques – charges opérationnelles – charges de structure – charges d'amortissement et frais financier

⁶ Le SMIC brut ou salaire minimum interprofessionnel de croissance est le salaire horaire en dessous duquel l'employeur n'a pas le droit de descendre pour rémunérer un salarié (source Dares - novembre 2017).

et prend en compte des effets précédant/suivant dans la modulation des besoins et des rendements. Un module capital représente le foncier, et les besoins en travail, en bâtiment et en équipement. Le besoin en main-d'œuvre est calculé par mois en fonction des opérations culturales, le travail d'astreinte est calculé en fonction du nombre d'animaux et des équipements et bâtiments. Le coût du matériel est calculé en fonction du temps d'utilisation, les données utilisées pour ces calculs sont issues des barèmes entraide.

Les principales réglementations de la PAC entre 1990 et 2017 sont modélisées dans un module politique et réglementation. Il est possible d'y ajouter d'autres instruments de régulation comme les taxes, les aides et les quotas. Enfin, le modèle calcule en sortie des indicateurs de l'impact des pratiques simulées sur le climat à l'aide de calcul d'analyse de cycle de vie (Mosnier et al. 2017).

2.1.1. Prise en compte des effets agronomique et zootechnique de la luzerne dans le modèle

Dans le modèle, nous avons pris en compte plusieurs effets agronomiques de la luzerne, dont la fixation d'azote atmosphérique et un effet précédent sur le rendement de la culture suivante. Cet effet bénéfique peut être relié à une amélioration de la structure du sol et une diminution de la pression des pathogènes et adventices.

Les besoins en azote calculés pour la luzerne sont fournis par la fixation symbiotique de l'azote. La fertilisation azotée minérale pour la luzerne est donc nulle pour les trois années de culture. On considère également le relargage d'azote durant les deux années suivant la culture de luzerne. La minéralisation résiduaire est définie à hauteur de 30 kg d'azote pour chacune des deux années (Comifer 2013) relargué en une fois dans le modèle. Compte tenu de la spécification du modèle, ces effets ont tous été cumulés pour la culture suivante. D'autre part, la luzerne en tant que culture pluriannuelle a des effets précédents positifs sur le rendement de la culture suivante. Le modèle prend en compte un effet précédent de +5% sur le rendement de la culture implantée derrière une luzerne.

Chaque culture possède des contraintes de fréquence d'apparition dans une rotation de type conventionnelle.

Tableau 1 : Contrainte de la fréquence de retour des cultures dans la rotation

Culture	Fréquence dans la rotation
Céréale	2 fois / 3 ans
Maïs	1 fois / 3 ans
Oléagineux	1 fois / 3 ans
Luzerne	1 fois 3ans / 9 ans

Le foin de luzerne est une source d'azote pour l'alimentation des bovins. Ajouter du foin de luzerne dans la ration des animaux peut permettre de réduire l'apport de concentrés riches en azote pour satisfaire les besoins d'une vache pour un niveau de production (et donc un besoin en azote) donné. Nous n'avons pas considéré d'effets zootechniques significatifs par rapport à

la quantité de luzerne apportée dans la ration. En effet, selon certaines références techniques (Brunschwig et al. 2005), l'introduction de 41% foin de luzerne dans la ration en remplacement d'ensilage de maïs réduit la quantité de lait produite et le taux protéique suite à une diminution de la valeur énergétique de la ration. Selon cette même étude ce défaut énergétique peut être corrigé par l'apport en céréales. Dans notre étude, les rations ont été calculées de façon à être iso-énergétiques et iso-protéiques. Selon la littérature, il existe des effets santé en lien avec l'ajout de foin de luzerne, mais, dans le contexte des exploitations simulées, nous n'avons pas pu nous appuyer sur des données relatives au foin de luzerne (Peyraud et al. 2014).

Tableau 2 : Valeur alimentaire du foin de luzerne (INRA, 2010)

UFL	UFV	PDIN	PDIE	UEB	UEL	UEM	MS	MO	MAT	DMO	EM
0.67	0.57	115	90	1.04	1.03	1.17	0.850	913	117	0.60	2001

Dans l'itinéraire technique choisi, on récolte la luzerne en quatre coupes. La première en enrubannage et les trois autres en foin (10 t MS/an, rendement cumulé sur les quatre coupes).

Dans tous les scénarios avec introduction de luzerne, Le prix de vente de la coupe d'enrubannage est fixé à environ 130 €/t MS (coût de production pour 2 t MS récoltée) (Chambre d'agriculture de l'Oise).

2.1.2. L'aversion au risque

L'agriculture est une activité à risque ; on ne peut donc pas ignorer le comportement des agriculteurs face aux risques dans le modèle, d'autant plus que l'on a pris en compte la variabilité interannuelle des prix et des rendements des cultures. Le risque est la conséquence néfaste d'un événement aléatoire (Cordier et al. 2008). Selon cette même étude, en agriculture, il existe cinq types de risques : les risques climatiques et sanitaires qui affectent le rendement et la qualité des produits, le risque de prix ou de marchés liés aux fluctuations des prix, les risques institutionnels, les risques financiers, et les risques humains et professionnels. Bouamra-Mechemache et al. (2015) reviennent sur trois d'autres eux, qui sont prépondérants dans notre travail : les risques prix, les risques de débouché et les risques de production liés aux conditions climatiques. Dans ce type de modélisation, il est possible de prendre en compte l'aversion au risque de l'agriculteur de deux manières. La première peut se traduire par une contrainte de sécurité de revenu avec un seuil minimum sous lequel on ne veut pas aller et la seconde correspond à la minimisation de la variabilité interannuelle du revenu.

La fonction « objectif » est de type espérance-variance, c'est-à-dire que l'on va maximiser l'espérance du revenu possible de l'exploitation (**e**) tout en minimisant la variance des revenus sur la période étudiée (**λ**) comme dans l'équation (1) avec Φ la pénalité que l'on choisit de mettre sur (**λ**).

$$\text{Max } \mu = e - \Phi \lambda \quad (1)$$

La variance des revenus correspond à la moyenne des résultats courants sur la période simulée auxquels on soustrait le coût du travail et l'aversion au risque. Dans les scénarios, nous observerons trois variantes de la fonction « objectif » par rapport à l'aversion au risque. Dans un premier cas, nous ne mettrons pas de pénalité sur la variabilité du revenu ($\Phi = 0$) et nous

considérerons ces scénarios comme « sans aversion ». Nous testerons dans un second temps, λ comme la variabilité du résultat net par rapport à la moyenne de celui-ci et Φ égale à 0,5. Ces scénarios sont par la suite présentés sous le terme « aversion sur l'écart type ». Enfin, nous proposerons scénario dans lequel le λ correspondra à un résultat net minimum à ne pas atteindre. Le seuil minimum étant équivalent à deux SMIC et Φ égale à 0,5. Les scénarios avec cette variante de la fonction « objectif » sont dénommés « aversion résultat minimum ».

2.2. Description de la zone d'étude et des exploitations

La région Rhône-Alpes, un territoire contrasté

L'orientation technico-économique dominante de la région Rhône-Alpes est l'élevage avec 58% des exploitations dont 38% en élevage bovin. Cependant, on observe un recul de l'élevage au profit des grandes cultures dans le recensement 2010 (Agreste 2018). Les zones de productions sont concentrées. Les élevages sont répartis sur les zones défavorisées de montagne, là où il n'y a pas (ou peu) d'alternative à la production d'herbe. Ces systèmes ont souvent une stratégie de différenciation (fromage d'Appellation d'Origine Protégée) favorisant une bonne valorisation du lait. Les conditions pédoclimatiques ne permettent pas de rendements élevés et ces systèmes ne sont pas forcément autonomes pour l'alimentation des animaux. Les systèmes de grandes cultures et de polyculture-élevage sont situés dans les zones de plaine plus favorables aux cultures. Ces systèmes sont encore majoritairement en rotation courte avec une grande part de maïs et de blé dans l'assolement, ceci peut apporter des externalités négatives sur l'environnement et parfois des impasses agronomiques.

Dans le cadre du projet de recherche-action, nous avons choisi de travailler en collaboration avec une coopérative de collecte de céréales et de vente d'aliment du bétail. Cette coopérative est située dans la zone d'étude et elle a mis en place une filière de foin de luzerne. Plusieurs entretiens ont été effectués afin de connaître l'historique et les stratégies liés à cette filière. L'objectif de la coopérative est d'offrir à ses éleveurs adhérents un approvisionnement en aliment du bétail riche en protéine de bonne qualité et avec une assurance sur la traçabilité. La polémique de plus en plus forte sur l'image du soja OGM d'importation et les contraintes liées aux cahiers des charges des AOP, les conduisent en effet à réfléchir à de nouvelles filières (tourteau de soja local et foin de luzerne).

2.3. Description des exploitations

L'exploitation de grandes cultures

Il a été choisi une exploitation moyenne avec un assolement initial tiré des moyennes régionales de la statistique agricole française (recensement agricole 2010) de la région Rhône-Alpes. Cette exploitation dispose d'une surface agricole utile (SAU) de 170 ha avec la possibilité de cultiver du blé tendre, du maïs, du colza et du tournesol. Les rendements de chacune de ces cultures correspondent aux rendements moyens de la région en 2017 (Agreste 2018).

Les données économiques du RICA (Réseau d'Information Comptable Agricole) 2015 ont été utilisées pour paramétrer le modèle. La variabilité économique (volatilité du prix de vente des céréales) étant forte pour cette orientation technico-économique (OTEX), il nous a paru plus juste de valider le modèle sur une année plutôt que sur la moyenne des 8 années simulées.

L'exploitation d'élevage

Les données utilisées pour l'exploitation d'élevage sont issues des données de références Inosys Réseaux d'Elevage. Nous avons sélectionné une exploitation laitière spécialisée à dominante herbagère en zone de montagne, sans valorisation spécifique du lait, créée à partir des résultats 2017 des exploitations du réseau bovins lait en Rhône-Alpes PACA : 112 ha étaient exploités dont 12 ha en culture et 15 ha de maïs ensilage pour 85 vaches laitières plus le renouvellement. En 2017, l'excédent brut d'exploitation était de 127 k€ avec un prix du lait à 344€ les 1 000L. Cette exploitation avait un système d'alimentation du troupeau basé sur l'herbe pâturée ou conservée en ensilage, avec une part de maïs ensilage qui représente 20% de la surface fourragère principale (SFP). Selon la description du cas type la production laitière était élevée, mais sans une consommation excessive de concentrés. Les céréales produites sur l'exploitation étaient intra-consommées par le troupeau.

2.4. Variabilité interannuelle des rendements et des prix des productions des exploitations d'élevage et de grandes-cultures

2.4.1. Variabilité des rendements

Pour représenter la variabilité de rendement interannuelle de chaque culture, nous avons utilisé les données Agreste (pour le blé, le maïs, le colza et tournesol, le triticale et les prairies) et complétées par des données simulées sur le modèle de croissance des cultures STICS⁷ pour la luzerne. Les rendements STICS pour la luzerne ont été simulés avec des critères de la région Champagne-Ardenne, avec les cultures de notre rotation. Nous avons utilisé la variation des rendements maïs sur la base de rendement observés en Rhône-Alpes.

Les rendements semblent être de plus en plus variables les dernières années de simulation (Figure 2, données Agreste⁸). La luzerne dont les données ne sont pas issues des mêmes

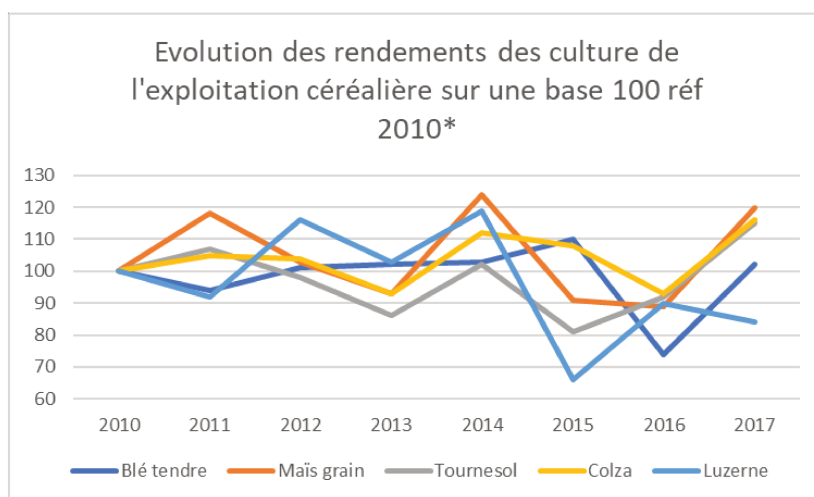


Figure 2 : Graphique représentatif de l'évolution des rendements des cultures entre 2010 et 2017 sur une base 100 avec 2010 en année de référence

⁷ <https://www6.paca.inra.fr/stics/Qui-sommes-nous/Presentation-du-modele-Stics> consulté le 10/09/2019

⁸ <https://stats.agriculture.gouv.fr/disar-web/disaron/%21searchurl/searchUuid/search.disar> consulté le 10/09/2019

sources est également plus variable que les autres cultures. On n'observe pas de tendance à l'augmentation des rendements depuis 2010, ce qui est cohérent avec les observations actuelles de stagnation des rendements (Brisson et al., 2010).

Pour l'exploitation d'élevage, la variation des rendements des productions végétales (Figure 3) met en évidence une stabilité relative des céréales (orge et triticale) et une variabilité plus forte du maïs ensilage et des prairies. La variabilité du rendement des prairies est représentée par la variabilité moyenne du rendement des prairies temporaires et permanentes pour la zone de l'étude.

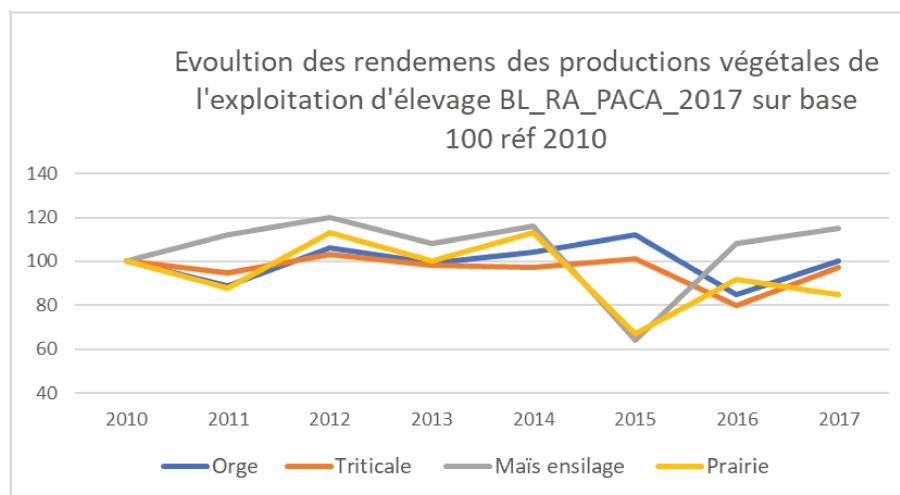


Figure 3 : Evolution des rendements des productions végétales de l'exploitation d'élevage entre 2010 et 2017 sur base 100 avec 2010 en année de référence (Agreste)

2.4.2. Variabilité des prix

Les données Agreste et les indices de prix des produits agricoles à la production (IPPAP⁹) mettent en évidence une forte variabilité des rendements et des prix de certaines productions

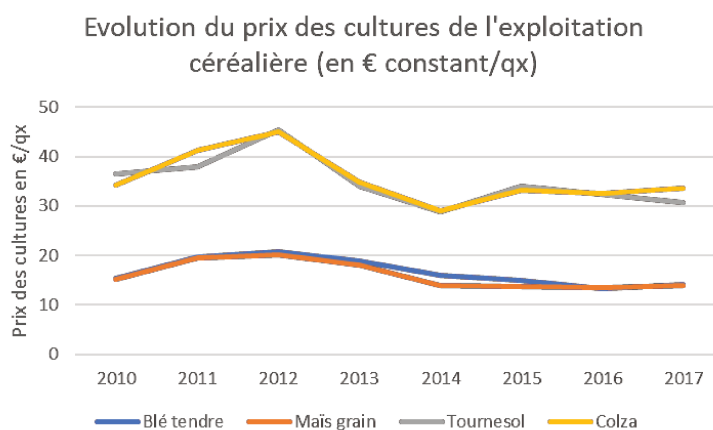


Figure 4 : Evolution des prix des cultures entre 2010 et 2017 en €/qx

⁹ IPPAP : indices prix des produits agricoles mesure l'évolution des prix des produits vendus par les agriculteurs. Il est élaboré par l'institut national de la statistique et des études économiques à partir de l'observation des prix de marché.

végétales au cours des années 2010 à 2017 (Figure 4, données IPPAP). Dans cette figure, les prix sont en euros constants. Les années 2011 et 2012 ont été plutôt favorables pour les prix des cultures de notre exploitation de grandes-cultures, alors que les prix sont plutôt en baisse sur les années 2015 à 2017.

Par ailleurs, on observe une variation de 7 centimes entre le prix maximum et minimum du litre de lait au cours de la période considérée (Figure 5) : 2014 étant la meilleure année et 2016 la plus mauvaise. Pour les cultures intra-consommées, nous ne considérerons que les variabilités de rendements, dans la mesure où elles sont essentiellement produites pour l'alimentation du troupeau et ne sont pas vendues. Pour les scénarios de prix variable, les prix de l'enrubannage et de foin de luzerne sont indexés sur l'indice IPPAP fourrages.

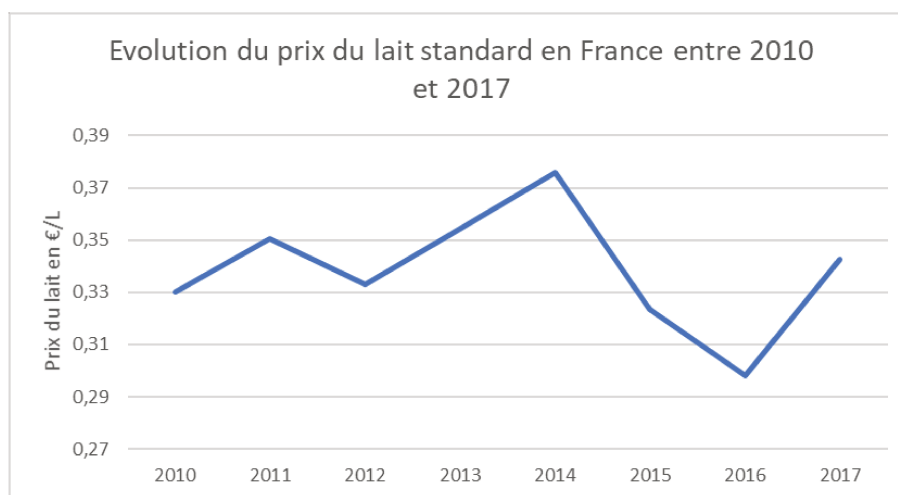


Figure 5 : Evolution du prix du lait standard en France entre 2010 et 2017 (en euro constant /litre)

2.4.3. Les contrats

A la genèse de la filière luzerne, la coopérative avait sélectionné un type de contrat proche d'un contrat de production. La coopérative orientait les agriculteurs sur le choix des variétés à cultiver, sur l'itinéraire technique à suivre et s'occupait de sous-traiter la récolte auprès d'une entreprise de travaux agricole. Leur stratégie a ensuite évolué pour proposer une contractualisation à la surface de luzerne cultivée, en achetant le foin récolté en bout de champ avec une incitation prix sur la qualité du produit. Cependant, ce contrat n'a pas permis à la coopérative de se prémunir de l'opportunisme de certains producteurs.

Les contrats que nous avons choisi de représenter sont des contrats de commercialisation. Ce type de contrat est largement utilisé en productions végétales. Ils permettent aux agriculteurs de se prémunir des risques prix. Les agriculteurs sont exposés à ces risques et pourraient y être d'autant plus avec la disparition du soutien des prix à la production Bouamra-Mechemache et al. (2015). Ces contrats permettent également de se prémunir des risques de débouchés, ce qui est important dans notre cas pour le céréalier.

Pour le montage du contrat pour l'exploitation de grandes-cultures, nous avons décidé de tester des contrats de trois ans. Nous avons utilisé le prix d'intérêt du foin de luzerne auquel

le modèle choisi d'implanter des surfaces en luzerne. Ce prix moyen nous a ensuite permis de déterminer avec les indices de prix par années, le prix moyen de vente sur les deux années précédant le premier contrat et ainsi de suite pour les deux autres contrats. Ce contrat ne porte que sur le foin et non l'enrubannage.

Pour l'exploitation d'élevage, nous avons choisi de tester un contrat avec un prix fixe pour une quantité constante achetée. Nous avons donc bloqué ces deux paramètres dans le modèle.

2.5. Description des scénarios

2.5.1. Les scénarios Grandes-cultures

Afin de définir le prix d'intérêt moyen du foin de luzerne sur les sept années de simulation, plusieurs simulations ont été réalisées avec une augmentation progressive du prix du foin de luzerne jusqu'à ce que le modèle fasse le choix d'implanter des surfaces de luzerne. Dans les simulations, l'assolement est libre sous certaines contraintes. Les surfaces maximales de chaque culture ne peuvent pas excéder +20% des surfaces de l'assolement initial. La surface minimum de chaque culture est nulle. Dans un premier temps, le modèle est autorisé à produire autant de luzerne qu'il le souhaite dans la limite des contraintes de rotation citées précédemment, sauf pour le scénario témoin où la luzerne n'est pas autorisée. On considère que le matériel pour la culture et la récolte du foin de luzerne est en propriété pour le céréalier.

Notre second objectif est de tester l'intérêt d'un contrat pour l'attractivité de la luzerne et la stabilisation du revenu. On compare le témoin (GCT) avec le scénario avec un contrat (GCLc) et le scénario sans contrat (GCL) sur la variabilité interannuelle du revenu de chacun des scénarios. Pour le scénario avec contrat le prix de vente du foin de luzerne est fixé sur trois années (Tableau 3). On reproduit les simulations en faisant varier la fonction « objectif » avec deux variantes de l'aversion au risque.

L'ensemble de contraintes prises en compte dans les différents scénarios et les variantes d'aversion au risque sont récapitulés dans le tableau suivant (Tableau 3).

Tableau 3 : Liste des contraintes liées aux scénarios sur le cas type grandes cultures

Scénarios Grandes cultures	Témoin (GCT)	Luzerne sans contrat (GCL)	Luzerne avec contrat (GCLc)
Estimation du prix d'intérêt de la luzerne			
Contraintes d'assolement	Max (Maïs, Blé, Colza) SAU Min 0 ha	Max SAU Max luzerne SAU Min 0 ha	
Intérêt du contrat			
Contraintes prix du foin de luzerne	/	Prix variable indexé sur les fourrages	Prix fixe (164€/t de 2010-2012; 181€/t de 2013-2015; 162€/t de 2016-2017)
Variante de la fonction objective (aversion au risque)			
Aversion résultat minimum	Pénalité de 0,5 sur un seuil minimum pour le résultat courant		
Aversion sur la moyenne	Pénalité de 0,5 sur la variation du résultat courant		

2.5.2. Les scénarios élevage

Pour les simulations de l'exploitation d'élevage, on bloque 12 ha réservés aux cultures (triticale et orge). Le reste des surfaces est dédié à la surface fourragère principale (SFP). L'arbitrage des surfaces dédiées aux différents usages de la SFP (pâturage, ensilage, foin, etc.,) est libre. Le nombre d'animaux est aussi laissé libre avec un seuil maximum de 100 vaches laitières.

Dans le scénario témoin, on considère que l'exploitation n'achète pas de foin de luzerne. Dans le second scénario, on autorise le modèle à acheter de la luzerne sans contrainte. De cette façon le modèle peut en acheter les années où il le souhaite en fonction du prix de la luzerne et de l'état de ses stocks fourragers.

Dans le troisième scénario, on souhaite voir si un contrat avec une quantité fixe à un prix fixe peut inciter l'éleveur à se prémunir des variabilités prix et sécuriser ainsi son revenu et ses stocks fourragers. Pour que le modèle puisse s'ajuster en conséquence, le contrat fixe le prix du foin de luzerne achetée pour toutes les années de simulations, en laissant libres les autres contraintes d'assolement et du troupeau. Le modèle peut acheter la quantité de luzerne qu'il souhaite mais cette quantité est ensuite fixée pour toute la période de simulation.

L'ensemble de contraintes prises en compte dans les différents scénarios pour le cas type élevage et les variantes d'aversion au risque sont récapitulées dans le Tableau 2.

Tableau 4: Liste des contraintes liées aux scénarios du cas type élevage

Scénarios Elevage	Témoin (ET)	Luzerne sans contrat (EL)	Luzerne avec contrat (EL _c)
Estimation du prix d'intérêt de la luzerne			
Contraintes d'assolement	Triticale et orge bloqué (12ha) Différents usages de la SFP = Max 100 ha Min 0		
Contraintes troupeau	Max 100 Min 0		
Intérêt du contrat			
Contraintes achat de foin de luzerne	Achat interdit	Prix et quantité variables	Prix fixe et quantité fixe (60t)
Variante de la fonction objective (aversion au risque)			
Aversion résultat minimum	Pénalité de 0,5 sur un seuil minimum pour le résultat courant		
Aversion sur la moyenne	Pénalité de 0,5 sur la variation du résultat courant		

3. Résultats

3.1. Résultats de l'exploitation de Grandes-cultures

3.1.1. Estimation du prix d'intérêt pour la production et vente de foin de luzerne

Le modèle opte pour l'implantation de la luzerne à partir d'un prix de vente du foin de 167€/t. Il en souscrit un peu plus de 40 ha. La surface maximale souscrite est de 60 ha pour un prix de

vente de 193€/t (Figure 6). Entre 2015 et 2017, ce prix prend en compte les subventions pour l'implantation de légumineuses fourragères.

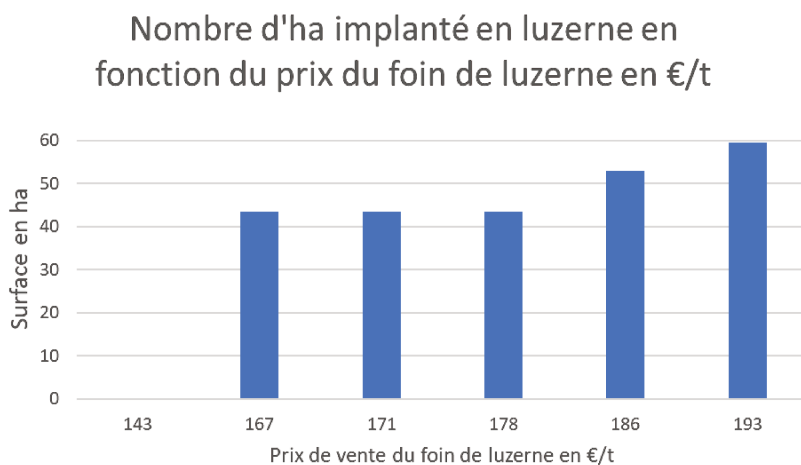


Figure 6 : Evolution de la surface en luzerne en fonction du prix de vente du foin de luzerne

3.1.2. Variabilité du résultat courant (sans aversion)

Lorsque l'on étudie l'évolution du résultat courant de l'exploitation céréalière entre 2010 et 2017 (Figure 7), on observe pour le scénario témoin (courbe bleue), un écart important entre les résultats les plus élevées et les plus faibles, respectivement de 85 k€ à 8 k€. Pour le scénario avec introduction de luzerne sans contrat (GCL) (à 167 €/t en moyenne sur les 8 ans) on constate une variabilité interannuelle du résultat courant comprise entre 86 et 18k€. L'implantation de luzerne permet de réduire la variabilité du revenu. Les résultats courants moyens pour ces deux scénarios sont de 51,17 k€ pour le Témoin et 53, 75 k€ pour le scénario avec luzerne et sans contrat (Tableau 5) pour un prix de vente du foin de luzerne à 167 €/t.

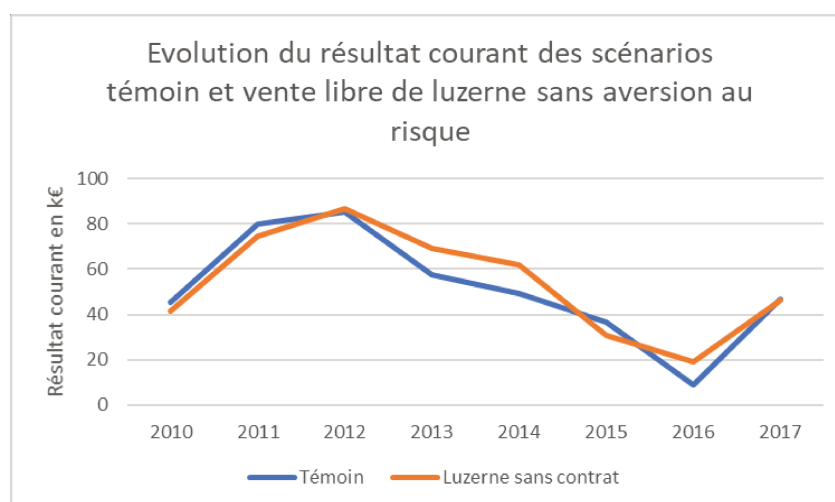


Figure 7 : Graphique représentative de l'évolution des résultats courants des scénarios grandes-cultures sans aversion au risque entre 2010 et 2017

On observe dans le tableau 3 une substitution de fertilisation minérale azotée entre le scénario témoin et les scénarios avec luzerne, la fertilisation azotée minérale baissant alors 24% par ha de SAU. En revanche, il y a une augmentation de la fertilisation minérale en phosphore et surtout en potassium.

Pour le scénario avec contrat (CGlc), le modèle n'implante pas de luzerne à un prix moyen de vente de foin de luzerne à 167 €/t. Pour rappel, nous avons utilisé le prix moyen auquel le modèle implante les premiers hectares de luzerne pour fixer les prix des contrats pour le scénario (GCLc). Cela signifie que les prix du contrat ne sont pas suffisamment intéressants dans le cas « sans aversion » au risque. Après une comparaison plus fine des prix avec contrat et sans contrat, on note que le contrat n'est pas assez réactif à la hausse des prix des deux dernières années de simulation. Le modèle implante de la luzerne avec contrat lorsque le prix moyen atteint les 170 €/t. Il existe cependant un biais à ce résultat puisque le modèle optimise le fonctionnement de l'exploitation en connaissant simultanément les prix et les rendements des huit années de simulations. Contrairement à l'agriculteur, il peut choisir ou non, le contrat car il sait déjà que le prix sera plus intéressant les années suivantes. En cela, avec une vision globale, le modèle ne retient le contrat que pour un montant supérieur à prix moyen sans contrat. La différence de prix de vente du foin de luzerne entre les deux scénarios explique la différence du produit total et de résultat courant. On observe également une augmentation des charges de structure entre le témoin (GCT) et les deux scénarios avec luzerne (GCL et GCLc).

Tableau 5: Synthèse des résultats techniques et économiques des scénarios du cas type grandes cultures

		Témoin (GCT)	Luzerne sans contrat (GCL) (Prix moyen 167 €/t)	Luzerne avec contrat (GCLc) (Prix moyen 170 €/t)
Résultats techniques				
Blé tendre (ha)		85	71	71
Maïs (ha)		56	56	56
Colza (ha)		29	/	/
Luzerne (ha)		/	43	43
Fertilisation minérale kg /ha	N	159	120	120
	P	59	64	64
	K	54	113	113
Résultats économiques (k€)				
Produit total		250	258	259
Charges opérationnelles		87,7	86,2	86,2
Charges de structure		66,4	76,8	77
EBE		133,3	136,3	136,5
Résultat courant moyen		51,17	53,75	54,61

3.1.3. Influence de l'aversion au risque

Lorsque l'aversion au risque est prise en compte par le modèle, l'assolement est modifié de sorte que l'écart-type et la moyenne du résultat courant soient plus faibles : il est coûteux de réduire l'exposition au risque. Lorsque l'aversion au risque porte sur les faibles niveaux de

revenu, la surface en luzerne – sans contrat- diminue par rapport au scénario sans aversion au risque, alors qu'elle augmente lorsque l'aversion porte sur l'écart type. Cela reflète qu'il n'y a pas de relation linéaire entre la surface implantée en luzerne et la distribution du revenu et que la luzerne permet plus de limiter l'occurrence de revenu très bas que de stabiliser le revenu. Lorsque des contrats sont proposés, le résultat moyen est plus élevé que dans le scénario sans contrat, du fait de la différence de prix moyen du foin de luzerne (Tableau 6). On peut également observer qu'avec un contrat, l'aversion au risque portant sur l'écart type induit l'implantation d'une plus grande surface de luzerne, alors que dans le cas où l'aversion au risque porte sur les revenus les plus faibles, la sole en luzerne diminue. Le fait que les prix de la luzerne soient variables et peu corrélés aux prix des céréales stabilise en fait le revenu davantage qu'un prix du foin de luzerne stable mais réévalué tous les trois ans.

Tableau 6 : Synthèse des résultats des scénarios avec les variantes de la fonction objectif avec aversion au risque

	Sans aversion au risque			Aversion résultat minimum		Aversion sur l'écart type	
	GCT	GCL	GCLc	GCL'	GCLc'	GCL''	GCLc''
RC moyen K€	51,1	53,8	54,6	50,3	54,6	49,5	50,6
Ecart type	24,3	23,1	21,2	17,7	20,2	17,8	14,9
Ha de luzerne implanté	/	43,4	43,4	42,5	43,4	49,9	42,5
Prix moyen du foin de luzerne	/	167	170	167	170	167	170

3.2. Résultats de l'exploitation d'élevage

3.2.1. Autonomie du scénario témoin

Le ratio des tonnes de matière sèche des aliments produits sur ceux consommés (Figure 8) montre que pour l'ensilage d'herbe, l'herbe pâturée et le triticale, les quantités produites par l'exploitation sont suffisantes pour répondre aux besoins du troupeau. En revanche, ce n'est pas le cas pour l'orge pour lequel l'exploitation est toujours déficitaire, sauf en 2012. Pour le foin, l'exploitation fait des stocks quatre années parmi les sept simulées. Elle était fortement déficitaire en 2015, année pour laquelle les rendements étaient très en deçà de la moyenne. Cette même année, l'exploitation a été amenée à acheter du foin en plus des prélèvements de son stock de foin. Cette exploitation est donc relativement autonome en fourrage, mais elle achète une majeure partie de son alimentation en concentrés énergétique et protéique.

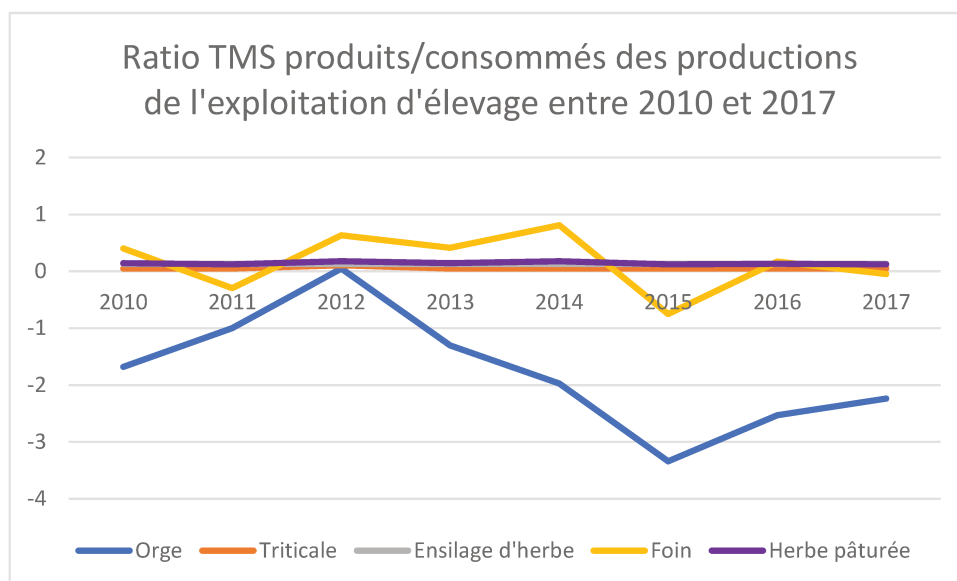


Figure 8 : Graphique représentatif de l'évolution du ratio aliment produit / consommé en tonne de matière sèche pour l'exploitation d'élevage entre 2010 et 2017

3.2.2. Prix d'intérêt pour l'achat de foin de luzerne

Le graphique (Figure 9) représente l'évolution du résultat courant en fonction du prix d'achat du foin de luzerne. Selon ce graphique, le revenu de l'élevage dans le scénario avec contractualisation de foin de luzerne (ELc) reste stable entre 180 et 185 €/t pour atteindre le niveau du témoin à un prix d'achat du foin de luzerne à 189 €/t. Entre 180 et 185 €/t le modèle choisi de diminuer la quantité de foin de luzerne contractualisé. Il passe d'un achat annuel de 30 t de foin de luzerne à 28 t (Tableau 7). Dans la configuration actuelle, l'agriculteur peut s'engager sans dégrader son revenu dans un contrat avec une quantité fixe de à 189 €/t. Le scénario avec possibilité d'achat de luzerne et sans contrat est le scénario avec le moins de contrainte. Le résultat courant de ce scénario est toujours supérieur au témoin. Le modèle choisira d'acheter des quantités de plus en plus faibles avec l'augmentation du prix. Pour ce scénario, la quantité donnée dans le tableau 7 est une valeur moyenne puisque le modèle est

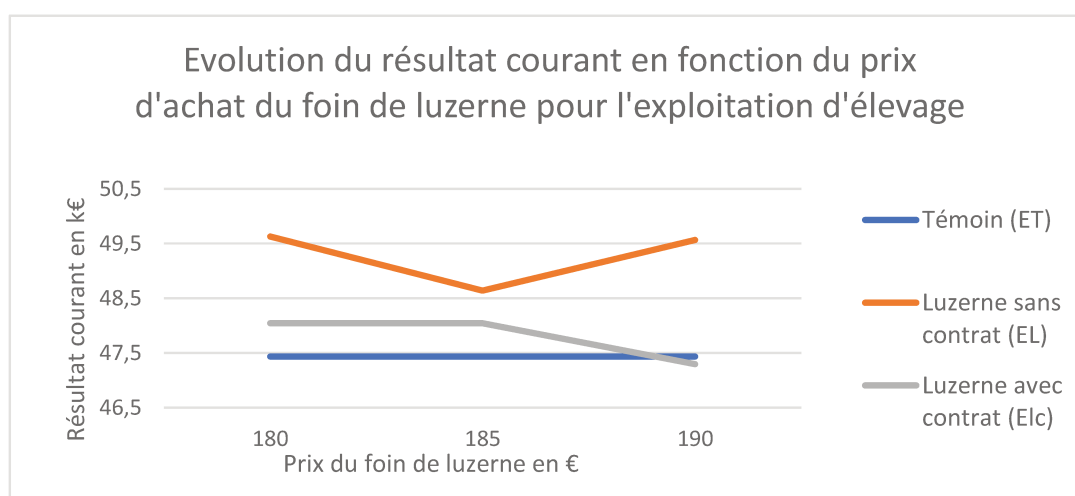


Figure 9 : Graphique représentatif d'évolution du résultat courant des scénarios de l'exploitation d'élevage en fonction du prix d'achat du foin de luzerne

libre d'acheter une quantité différente chaque année. Dans ce contexte l'achat de foin de luzerne peut servir de variable d'ajustement pour pallier les aléas climatiques par exemple.

Tableau 7 : Quantité de foin de luzerne acheté pour les scénarios avec et sans contrat en fonction du prix d'achat

Prix en €/t	180	185	190
Quantité moyenne de foin de luzerne acheté (EI) en t	14	14	11
Quantité annuelle achetée (ELc) en t	30	28	1

On observe dans le tableau 8, les résultats techniques et économiques des scénarios témoins et luzerne au prix d'intérêt, c'est-à-dire pour des résultats courants environ identique. L'achat de luzerne permet à l'agriculteur de pouvoir intensifier sa production en augmentant son cheptel laitier. On constate dans le même temps une légère augmentation de la consommation de concentrés par litre de lait produit. Les résultats économiques mettent en évidence une augmentation des recettes animales pour les scénarios avec l'achat de luzerne mais en même temps une augmentation des charges de structures et des charges opérationnelles pour un résultat courant moyen équivalent.

Tableau 8 : Synthèse des résultats techniques et économiques du cas type élevage

	Témoin (ET)	Achat de luzerne libre (EL)	Achat de luzerne sous contrat (ELc)
Résultats techniques			
Nombre de vaches laitières	75	82	74
Chargement (UGB/ha de SFP)	1,06	1,16	1,04
g Concentrés/L lait produit	218	232	219
Prix moyen d'achat du foin de luzerne (€/qx)	/	189	189
Résultats économiques en (k€)			
Recette animale totale	221,1	244,7	218,2
Charges opérationnelles	77,3	89,3	75,3
Charges de structures	46,9	49,5	47,2
Aides PAC	48,95	48,95	48,95
EBE	159,4	165,5	158,8
Résultat courant moyen	47,43	49,56	47,30

Le graphique de la figure 10 représentant la composition de la ration des vaches laitières, montre une augmentation de la part de concentrés énergétiques dans les deux scénarios où il y a eu l'ajout de luzerne. Le foin de luzerne étant un fourrage riche en protéine, il permet une substitution de la part de tourteau de soja et de la luzerne déshydratée. La part d'ensilage d'herbe et de foin diminue également. Il n'y a toutefois pas de changement majeur dans la ration, seulement un rééquilibrage entre les besoins supplémentaires en énergie et en moins pour l'apport protéique.

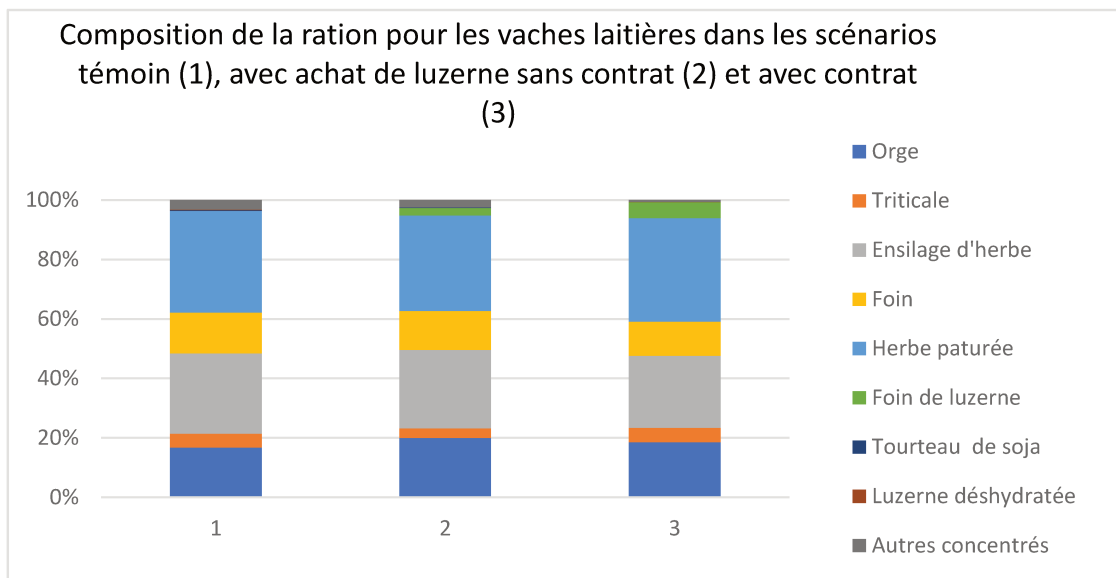


Figure 10 : Histogramme de la composition de la ration vache laitière pour chacun des scénarios de l'exploitation d'élevage

3.2.3. Variabilité du revenu

Le graphique (Figure 11), représentant l'évolution du revenu de l'exploitation d'élevage entre 2010 et 2017, montre que le revenu scénario témoin (ET) du oscille entre 60 k€ et 37k€. Le revenu de cette exploitation est beaucoup plus stable que celui de l'exploitation céréalière. Le scénario avec luzerne et sans contrat a la plus forte variabilité de revenu (variation de 40 à 65 k€). Alors que le scénario avec contrat a le revenu avec la plus faible variabilité (variation de 38 et 59 k€). Ces variations suivent l'évolution du prix du lait. Il y a une augmentation du cheptel

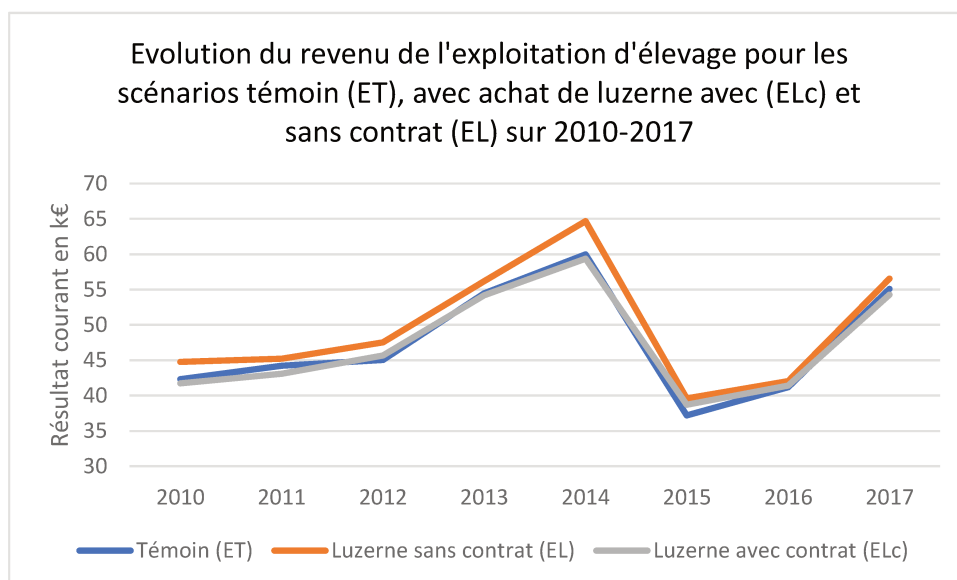


Figure 11 : Graphique représentatif de l'évolution du résultat courant des trois scénarios de l'exploitation d'élevage

entre les trois scénarios, plus il y a d'animaux et donc de production laitière, plus le revenu est sensible au prix du lait.

3.2.4. Influence de l'aversion au risque

Le revenu ne descend jamais en dessous du revenu minimum défini pour l'exploitation, nous ne présenterons donc que les résultats de l'aversion à l'écart type.

Dans les scénarios avec aversion au risque sur la variabilité du revenu, on constate que le résultat courant moyen est inférieur aux scénarios sans aversion, sauf pour le scénario avec contrat (Tableau 9). La possibilité d'acheter de la luzerne sans contrainte de contrat (avec ou sans aversion au risque) entraîne une augmentation du cheptel ainsi qu'une augmentation de la variabilité du résultat courant. Le contrat permet de réduire l'écart type du résultat courant seulement quand il n'y a pas d'aversion au risque.

Tableau 9 : synthèse des résultats des variantes de l'aversion au risque pour le cas type élevage

	Sans aversion au risque			Aversion sur l'écart type		
	Témoin	Sans contrat	Avec contrat	Témoin	Sans contrat	Avec contrat
RC moyen K€	47,43	49,56	47,30	46,78	49,14	47,72
Ecart type	8,03	8,63	7,5	6,61	7,59	7,12
Prix moyen du foin de luzerne	/	189	189	/	189	189
Nombre de vaches laitières	75	82	74	72	80	73

4. Discussions

4.1. Discussion des résultats

Il existe un écart entre le prix d'intérêt pour le foin de luzerne auquel le céréalier de notre simulation grandes cultures est prêt à implanter des surfaces de luzerne et le prix d'achat sur lequel l'éleveur s'engage sans dégrader son revenu par rapport au scénario témoin. L'introduction de luzerne permet une stabilisation relative du résultat courant de l'exploitation en grandes cultures. En revanche, la mise en place d'un contrat pour l'implantation de luzerne n'a pas d'effet supplémentaire sur la variabilité interannuelle du revenu de l'exploitation. Ce contrat, avec un prix fixe sur 3 ans, n'est pas assez « réactif » par rapport à la forte fluctuation des prix des productions végétales. Sur les huit années de simulation, il peut ne pas être intéressant par rapport à un prix de marché. Ceci peut expliquer des phénomènes d'opportunisme selon lesquels les céréaliers seraient tentés d'aller vendre leur foin de luzerne au plus offrant.

D'autant plus, si l'on considère que le céréalier est prêt à prendre des risques (scénario sans aversion au risque). Dans les deux cas de prise en compte de l'aversion au risque (variation du revenu moyen ou revenu minimum) le contrat semble plus intéressant.

Nous aurions pu aussi considérer qu'en plus d'un prix de marché variable, le céréalier sans contrat n'arrive pas à vendre tous les ans toute sa production, notamment pour les années où

les rendements en fourrages sont bons et que l'éleveur n'a pas besoin de fourrages supplémentaires. C'est dans cette situation que le partage du risque avec un contracteur prend du sens.

Pour ce qui est des simulations sur l'exploitation d'élevage, cette fois-ci l'addition de luzerne dans la ration n'a pas l'effet escompté sur la stabilisation du revenu. D'une part, parce que le revenu de l'exploitation d'élevage est initialement plus stable que celui de l'exploitation des grandes cultures. D'autre part, l'ajout de luzerne a entraîné une augmentation de la taille du troupeau, ce qui rend les scénarios avec achat de luzerne plus sensibles aux variations de prix du lait et des intrants. Elle ne peut donc pas se servir de cet achat comme d'un levier d'adaptation quand elle en a besoin. La contrainte d'achat d'une quantité fixe à prix fixe pour le scénario avec contrat conduit le modèle à garder un mode de production proche du scénario témoin. Ce scénario n'a pas d'effet sur la stabilité de revenu dans nos conditions de simulations. En revanche, il permet de réduire l'achat de matières premières riches en protéine (luzerne déshydratée et tourteau de soja). Nos conclusions pourraient évoluer dans un contexte de prix du tourteau de soja différent. La limite de cette simulation est d'avoir choisi un cas type pratiquement autonome en fourrage. Pour une exploitation autonome, l'intérêt serait certainement qu'elle cultive elle-même sa luzerne sur ses terres labourables. Cependant, cette constatation est fortement dépendante du contexte socio-économique actuel (Mawois et al. 2019). En effet, l'augmentation du prix du tourteau de soja, ou de nouvelles réglementations sur la traçabilité de ce dernier peuvent donner un tout autre regard sur les sources de protéines locales.

Il serait tout de même intéressant de pouvoir tester d'autres types de fermes. Nous avons prévu de tester un second cas type élevage représentant une exploitation avec des productions sous signe de qualité avec une propension à payer plus importante et une exigence plus forte pour des matières premières d'origines tracées et locales. Par manque de temps nous n'avons pu réaliser qu'une simulation sur les deux.

4.2. La place de la coopérative

Dans cet échange, la coopérative offre une capacité de logistique et transport en plus du partage du risque. Elle offre également la possibilité de faire correspondre l'offre à la demande en reliant un grand nombre d'agriculteurs entre eux. Le développement d'une filière de production locale lui permet une diversification de son offre et une meilleure traçabilité et une meilleure maîtrise des prix des produits qu'elle vend par rapport à la situation initiale où elle revendait du foin acheté hors région. Cependant, les modalités du contrat que nous avons testé ne permettent pas une « réactivité » suffisante par rapport à la grande variabilité interannuelle du prix de ce produit. L'agriculteur n'y trouvera un intérêt que si son inversion aux risques prix est forte. Il faudrait par conséquent trouver un contrat plus incitatif.

4.3. Retour sur les éléments pris en compte dans le modèle

Dans le modèle, nous avons considérés un arrière-effet avec une augmentation de 5% du rendement et un relargage d'azote pour les cultures suivantes qui permet une diminution des dépenses en fertilisation azotée. Les travaux de Mawois et al. (2019) ont montré que plus les arrières-effets des légumineuses sont pris en compte plus il y a un haut niveau d'implantation

de culture. Nous n'avons pris en compte ni l'effet de la luzerne sur la pression des pathogènes et adventices ni son effet sur l'environnement (amélioration de la qualité de l'eau et du sol grâce à une diminution de l'utilisation d'intrant de synthèse) (Jeuffroy et al. 2015 ; Meiss et al. 2010 ; Deytieux et al. 2012).

4.4. Risque qualité

Nous n'avons pas tenu compte de la variabilité de la qualité du foin de luzerne. Or c'est un élément important modulant la valeur nutritionnelle du foin pour l'élevage. Par ailleurs, la récolte et la conservation en foin sont des étapes délicates qui requièrent une grande technicité. En effet, plus encore que l'ensilage et l'enrubannage, le savoir-faire est essentiel à la réussite de la récolte de foin de luzerne. Sachant que la feuille se dessèche 1.5 à 2 fois plus vite que les tiges, les pertes au champ peuvent dépasser 30% du rendement initial quand les interventions ne sont pas maîtrisées.

Les céréaliers n'ont pas forcément ce savoir-faire. De plus, le contrat de commercialisation offre une assurance de débouchés mais pas forcément une incitation à produire un fourrage de qualité (Bouamra-Mechemache et al. 2015). Une des idées de la coopérative pour inciter les céréaliers à faire des récoltes de qualité est de mettre une prime qualité dans l'établissement du prix. Cette solution serait un bon moyen d'inciter les céréaliers à améliorer leur technicité dans la récolte assez complexe de ce fourrage pour garantir un standard de qualité pour les éleveurs.

4.5. Délégation de la récolte

Dans nos simulations, le matériel de récolte pour le foin de luzerne est détenu en propriété par l'exploitation de grandes cultures. Ceci entraîne des charges de mécanisation supplémentaires que les exploitants ne sont pas forcément prêts à payer. Il serait possible d'envisager que le matériel de récolte soit partagé dans une CUMA pour réduire ces coûts. Les exploitants peuvent également déléguer la récolte de luzerne à une entreprise de travaux agricole. De cette manière, ils n'ont pas à investir dans le matériel et peuvent avoir accès au savoir-faire de l'entreprise sur la technicité de la récolte du foin de luzerne.

4.6. Intérêt du contrat

L'exploitation élevage ne trouve pas d'intérêt économique à choisir de s'engager dans ce contrat même si cela lui permet de maîtriser le prix du foin de luzerne sur plusieurs années. Les producteurs laitiers sont déjà fortement liés à leur acheteur pour le lait (Dedieu et Courleux, 2009), ils ne sont alors pas forcément prêts à s'engager sur l'achat de matières premières d'autant plus s'ils sont capables de faire autrement avec les ressources de leur exploitation. Cependant, il existe un biais dans les simulations liées au fait que le modèle connaît par avance toutes les variations de prix et de rendement sur toutes les années de simulation. Il peut donc faire des projections sur le futur et refuser un contrat qui pourrait paraître intéressant pour un agriculteur qui lui ne connaît pas à l'avance les conjonctures des années suivantes. Pour rendre le modèle plus réaliste et se rapprocher des conditions réelles de prise de décision, nous pourrions refaire les simulations de manière récursive, année par année pour que le modèle ne puisse pas anticiper les aléas (Mosnier et al. 2009)

5. Conclusion

La luzerne a de nombreux intérêts agronomiques et environnementaux. Nous avons montré dans quelle mesure l'introduction de luzerne dans une exploitation de grandes cultures et son utilisation en foin pour l'alimentation de troupeau de montagne et piedmont pouvait avoir un intérêt économique pour les exploitations. Nos deux exemples d'exploitation céréalière de plaine et d'élevage laitier de montagne, donnent une illustration des conditions favorables ou défavorables à la mise en place d'un échange par l'intermédiaire d'une coopérative et de la mise en place de contractualisations. L'engagement dans un contrat de commercialisation assure à l'exploitation de grandes cultures, un prix et un débouché pour sa production de luzerne. Il lui permet de stabiliser son revenu. En revanche, pour une exploitation d'élevage pratiquement autonome en fourrage, l'engagement sur une quantité de foin de luzerne la rend plus dépendante aux achats. Bien que le foin de luzerne se substitue aux achats de tourteau de soja. Il accroît la quantité de fourrage disponible, que le modèle utilise pour augmenter la production globale en intensifiant le système et en le soumettant plus aux fluctuations des prix du marché plutôt que d'améliorer sa sécurité. L'exploitation produit plus mais à un coût plus élevé ce qui ne permet pas d'augmentation du revenu d'autant que l'exploitation ne valorise pas ses productions (production de lait standard). L'objectif serait de pouvoir tester d'autres structures d'exploitations laitières que la coopérative pourrait cibler pour la vente de foin de luzerne.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les acteurs du développement (Jean-Philippe Goron, Jean-Pierre Manteau, Marianne PHILLIT et Tanguy MOREL) qui ont participé à l'atelier collectif et qui ont pu être sollicités par la suite pour leurs expertises dans la validation de certaines données de l'étude. Ainsi que la coopérative dauphinoise pour son partage d'expérience qui nous a servi d'exemple pour notre étude. Nous remercions Camille Launay impliquée dans le projet 4p1000 qui nous a fourni les données utilisées sur le modèle STICS.

Synthèse

L'objectif de ce chapitre était de déterminer le prix d'intérêt pour la production et la vente de foin de luzerne pour un céréalier de plaine et l'achat de ce foin par un éleveur de montagne, ceci sans dégrader leur revenu. Nous avons également voulu tester l'effet d'un contrat de vente ou d'achat respectivement sur la stabilisation du revenu afin de voir l'intérêt de faire appel à une coopérative pour contractualisation.

Pour réaliser cette étude nous avons une nouvelle fois eu recours au modèle bioéconomique ORFEE pour optimiser des fermes fictives de grandes-cultures et d'élevage représentatives d'exploitations de plaine et d'élevage bovins laitiers de montagne produisant du lait standard en région Rhône-Alpes.

Sur la période de modélisation (2010-2017), l'implantation de luzerne a permis une stabilisation du revenu de l'exploitation de grandes-culture. En revanche, l'achat de foin de luzerne a entraîné une intensification de la production pour l'élevage sans contrat. La possibilité d'achat de luzerne sans contrat était le scénario avec le moins de contraintes pour le système. L'objectif de ce scénario était d'observer l'achat ponctuel de luzerne comme levier d'adaptation face aux aléas de rendements. Finalement, le modèle profite de cette flexibilité pour augmenter le cheptel. Ce scénario ne permet pas de réduire la variabilité de revenu de l'élevage. La contrainte d'achat d'une quantité fixe à prix fixe pour le scénario avec contrat conduit le modèle à garder un mode de production proche du scénario témoin. Nous avons pu établir une fourchette de prix de 167-189 €/t entre le prix d'intérêt pour la vente et l'achat du foin de luzerne. Dans ces simulations nous avons pris en compte les prix pour l'implantation de légumineuses fourragères de 2015 à 2017 (soit 230 en moyenne). Les contrats mis en place pour les deux exploitations n'ont pas eu d'effet supplémentaire sur la stabilité du revenu des exploitations d'élevage et de grandes-cultures.

La coopérative offrirait dans ce cadre un appui logistique pour le transport du foin d'une exploitation à l'autre et une garantie de débouché et d'approvisionnement. Cette nouvelle filière, offrirait à la coopérative la possibilité d'avoir une meilleure traçabilité et maîtrise des prix de son approvisionnement pour les élevages, et de proposer une solution agronomique supplémentaire pour la réduction en intrants de synthèse aux adhérents céréaliers avec une culture sous contrat.

Chapitre 6 :

Discussion générale

Chapitre 6 : Discussion générale

1. Rappel des objectifs de recherche

Notre objectif était d'estimer le prix d'intérêt pour l'achat et la vente de marchandises, permettant des interactions culture-élevage à l'échelle de plusieurs exploitations agricoles. Nous voulions étudier des interactions offrant des avantages agronomiques en lien avec des pratiques agroécologiques.

Dans un premier axe, nous voulions décrire la mise en place d'interactions culture-élevage à l'échelle de plusieurs exploitations à l'aide d'un cadre d'analyse sur les coûts inhérents à toutes coopérations entre entreprises ou exploitations, les coûts de transactions. Nous avons choisi quatre démarches qui nous ont permis de capter la diversité et les formes multiples que pouvaient prendre ces coopérations. L'objectif de la seconde partie était de déterminer le prix d'intérêt pour un éleveur et un céréalier pour échanger - de façon marchande - du fumier et de la paille. Avec cette pratique nous voulions améliorer le bouclage des cycles des nutriments, en particulier celui de l'azote. Cette pratique permet également de substituer une partie des engrais de synthèse utilisés et ainsi réduire l'utilisation de ressources non renouvelables. L'objectif du dernier axe était de déterminer le prix d'intérêt pour la production et la vente de foin de luzerne pour un céréalier de plaine et l'achat de ce foin, par un éleveur de montagne, ceci sans dégrader leurs revenus respectifs. Nous voulions également tester l'effet d'un contrat de vente ou d'achat, sur la stabilisation du revenu afin de voir l'intérêt de faire appel à une coopérative pour la contractualisation.

Dans ce dernier Chapitre, nous verrons dans un premier temps comment les études réalisées nous permettent d'apporter une réponse aux différentes problématiques que nous nous sommes posées. Nous ferons ensuite un retour sur la méthodologie employée et les principales limites que nous avons pu rencontrer. Enfin nous ouvrirons avec un regard plus large sur l'intérêt des interactions culture-élevage à l'échelle de plusieurs exploitations et quelles pourraient être les futures recherches à poursuivre pour avancer dans ces coopérations.

2. Bilan des résultats

Dans cette partie nous reviendrons sur les principaux résultats obtenus aux cours de ces recherches. Nous essayerons d'analyser certains points marquants.

2.1. Axe 1 analyse de quatre coopérations culture- élevage par les coûts de transaction

Dans ce premier axe, nous avons étudié quatre démarches de coopérations culture-élevage. La première démarche portait sur le pâturage des dérobées d'une exploitation de grandes cultures par la troupe ovine d'une exploitation voisine. Ceci permettait à l'éleveuse d'avoir une ressource supplémentaire de fourrages et de pouvoir augmenter son cheptel malgré la surface limitée de son exploitation. La seconde coopération réunissait trois GAEC avec 7 associés, qui ont mis en commun une surface de 700 ha dans le but de réduire leurs charges de mécanisation. Le troisième cas présentait la valorisation de céréales et d'oléo-protéagineux produits par un céréalier en agriculture biologique pour l'alimentation animale. Ce céréalier a choisi de se faire certifier organisme stockeur afin de maîtriser lui-même le débouché et le prix

de ces productions. Enfin, la dernière démarche étudiée décrivait une initiative de filières locales de tourteaux de soja non OGM et de foin de luzerne.

2.1.1. L'importance des relations humaines

Au travers des différents discours, lors des enquêtes auprès des agriculteurs, nous nous sommes rendu compte de l'importance capitale du relationnel entre les personnes pour faciliter la mise en place d'une coopération. Ceci est en particulier vrai pour des relations de ferme à ferme. Asai et al. (2018) parlent dans leurs travaux de la force des réseaux sociaux auxquels les agriculteurs sont associés qui permettent de réduire les coûts d'information et d'identification d'un partenaire.

Nous avons également pu remarquer l'importance de ce tissu social dans le processus initial d'enclenchement de la démarche. Pour la petite histoire, la réunion des trois GAEC autour d'un assolement en commun, s'est initiée lors d'un bal des Jeunes Agriculteurs. C'est en voulant soutenir l'installation d'une amie éleveuse que le céréalier a proposé de faire pâturer par des ovins ses parcelles en inter-culture. Les relations humaines et la confiance interpersonnelle sont des facteurs facilitateurs pour initier le processus de coopération.

Ces initiatives de coopérations ferme-à-ferme sont assez spontanées. Cependant, si ces démarches aboutissent à des situations gagnant-gagnant, la question est de savoir comment inciter d'autres exploitants à mettre en place des initiatives avec des personnes qu'ils ne connaissent pas.

2.1.2. Une diversité d'initiatives

A travers ces quatre exemples et la littérature, la diversité des formes d'interactions culture-élevage apparaît comme un élément remarquable. Moraine (2017) a réalisé une typologie des initiatives d'intégration culture-élevage à l'échelle du territoire en France. Il a classé les initiatives selon deux axes, le premier représentant l'échelle des interactions (de l'exploitation au territoire), le second représentant l'effet de l'initiative de la réduction d'intrant à la réduction d'impact. Il propose cinq types à l'échelle territoire, deux de ces types traitent de la mutualisation de produits ou d'unité de transformation (échange collectifs et filières courtes). Au niveau organisationnel ces échanges auront pour vocation de permettre l'échange de produits, l'organisation du travail et le partage du risque. Viennent ensuite les types d'initiatives concernant la mutualisation d'infrastructure et en particulier des unités de méthanisation permettant la production d'énergie et la réduction des impacts environnementaux. Enfin, le dernier type regroupe la mutualisation du foncier par la mise à disposition de parcelles d'une exploitation à une autre. Dans nos quatre démarches deux d'entre elles correspondent à de l'échange de marchandises qui peuvent s'organiser autour d'un plus grand groupe. Les deux autres entrent dans la mutualisation de ressources foncières par un usage en commun des surfaces qui nécessite une interconnaissance forte entre les membres de la coopération, ce qui peut freiner le développement de ces pratiques. Le développement des échanges de marchandise pourrait en revanche se développer en donnant des repères économiques de la valeur des échanges, en mutualisant les efforts de mise en marché et en sécurisant les contrats.

2.1.3. L'importance de la spécificité de l'actif et l'acceptation du changement

Selon Jouan et al. (2019), la spécificité de l'actif (ou facteur de production) est plus importante pour le collecteur que pour le producteur. Le céréalier n'a pas toujours besoin d'investir dans des équipements supplémentaires pour la production d'une nouvelle culture telle que les légumineuses à graines par exemple. Dans le cas du soja que nous avons étudié, l'agriculteur n'a pas besoin d'investissements supplémentaires pour la mise en place de cette nouvelle culture. La coopérative doit, elle, trouver une unité de transformation pour l'extrusion des graines de soja et adapter ses capacités de stockage pour ce nouveau produit. Il en est de même pour le céréalier organisme stockeur qui a dû investir dans une unité de stockage supplémentaire, ou bien dans certains cas cet investissement a eu lieu chez les éleveurs avec qui il travaille. En revanche, il y d'autres cultures, comme les légumineuses fourragères par exemple, qui demandent plus d'investissements en matériel de la part de l'agriculteur. Les céréaliers sont rarement équipés en matériel de fenaison. Par ailleurs, un fois l'investissement dans de nouveaux équipements réalisés, il est difficile de revenir en arrière sans perte économique puisqu'il sera difficile de revendre le matériel à hauteur de sa valeur d'achat. L'investissement ne sera pas totalement réversible, ce risque est à prendre en compte.

Selon Asai et al., 2018, l'incertitude d'information est un frein important à la mise en place de coopération. Dans ces informations on retrouve, les informations sur la quantité et la qualité du produit échangé ainsi que sur la volonté des agriculteurs à changer leurs pratiques actuelles et l'équipement disponible.

2.1.4. Une méthode qualitative

L'analyse des coûts de transaction offre une vision assez exhaustive des différents facteurs de coûts qui peuvent apparaître et de leur poids dans le processus de coopération. Cette méthode d'analyse est qualitative. Notre objectif n'était en aucun cas de vouloir quantifier ces coûts. En revanche, lors des réunions, les acteurs du développement ont exprimé leur intérêt pour estimer le prix de plusieurs marchandises dans le but de pouvoir conseiller des agriculteurs.

2.2. Axe 2 : faisabilité économique de deux coopérations culture-élevage

2.2.1. Les échanges paille-fumier

L'approche par modélisation nous a permis de proposer une valeur économique du fumier en prenant en compte les changements engendrés par une application régulière de fumier sur des surfaces en culture qui ne recevaient auparavant que des fertilisants de synthèse (changement biophysique, matériel supplémentaire, heure de travail, etc.). De la même façon, la simulation de l'exploitation d'élevage, nous a permis d'estimer ce que l'éleveur pouvait consentir à céder. Pour cela, nous avons pris compte de l'impact d'une diminution de l'apport en fumier sur les stocks hypothétiques de matière organique de l'exploitation. Dans notre cas, l'impact sur l'exploitation d'élevage reste minime puisque nous avons considéré que le fumier qui pouvait être vendu était la part en excédent. Elle n'améliorait donc pas la fertilité du sol et la valeur fertilisante du fumier à court terme était

relativement faible par rapport à un engrais minéral. Ce surplus de fumier (par rapport au seuil nécessaire pour maintenir la fertilité des sols) était relativement faible dans cette exploitation. Nous aurions pu tester cet échange sur des exploitations avec un excédent d'effluent plus important ou autoriser un déstockage de matière organique sur les parcelles de l'élevage. Cependant notre objectif était de modéliser des fermes moyennes représentatives de la zone étudiée.

Les résultats des simulations montrent qu'un accord de prix est possible entre les deux exploitations. Le céréalier a intérêt à acheter et épandre du fumier sur ses parcelles pour un prix du fumier à partir de 10 €/t jusqu'à 17 €/t, si on prend en compte l'hypothèse d'une amélioration du rendement des cultures grâce à un apport régulier de fumier. L'éleveur peut quant à lui céder 20% de son fumier sans dégrader son revenu. Cette simulation montre que cet échange ne permet pas un gain économique élevé. Cependant, elle démontre que l'échange paille-fumier ne dégrade pas le revenu des agriculteurs tout en améliorant la teneur en matière organique (et donc la fertilité) des sols pour l'un sans dégrader celle de l'autre. Le stockage de matière organique dans le sol peut aussi être vu comme une capitalisation de fertilité et une séquestration de carbone pour les générations à venir. De ce point de vue, la problématique de l'agriculteur devient un enjeu de société qui pourrait être supporté de façon collective grâce à des aides agro-environnementales par exemple. D'autre part si les politiques publiques ou collectivités s'emparent de cette question, la gestion de la matière organique pourrait être coordonnée en synergie avec un plus grand nombre d'acteurs. Il existe déjà des coopérations entre collectivités et agriculteurs, où les déchets verts des collectivités et des ménages sont valorisés en engrais vert par les agriculteurs (Pellerin et al., 2019).

Si l'on reprend le bilan global des deux exploitations (Tableau 1), on observe une diminution des besoins en fertilisants de synthèse pour l'exploitation en grandes-cultures et une augmentation modeste pour l'élevage. Ce qui donne un bilan global de -8 700kg N (fertilisant de synthèse) épandu en moins sur les deux exploitations. Le prix du fumier relativement plus élevé que celui des fertilisant de synthèse entraîne une augmentation des coûts de fertilisation chez le céréalier. La substitution d'une faible part de fumier par un fertilisant de synthèse ne modifie pas les coûts de fertilisation chez l'éleveur.

Tableau 1 : Bilan technique et économique de l'effet de l'échange sur les deux exploitations

		Exploitation de grandes-cultures	Elevage
Fertilisation de synthèse Kg/ha	N	-35	+4
	P	-19	+4
	K	-11	/
Coût en fertilisation		++	=
Résultat courant		=	=

Si l'on revient maintenant sur l'équilibre offre-demande entre les deux exploitations, on remarque un fort déséquilibre entre la demande en fumier, avec les contraintes que nous sommes fixées, par rapport à l'offre que peut fournir l'élevages. Le céréalier devrait

coopérer avec plusieurs exploitations d'élevage s'il veut se procurer les quantités de fumier proposées dans les scénarios. Cette situation complexifie d'autant plus l'organisation de la coopération. Dans cette configuration, la délégation de la logistique pour le transport voire même l'épandage du fumier pourrait être envisagée bien que cela augmenterait rapidement les charges et diminuerait la valeur d'intérêt du fumier pour le céréalier.

2.2.2. La filière foin de luzerne

Les résultats de la modélisation de la filière foin luzerne, ne montrent finalement pas une meilleure valorisation de la ressource, ni une meilleure autonomie protéique à l'échelle de l'exploitation d'élevage. Dans leur article Regan et al. (2017) parlent du jevon's paradox qui définit qu'une augmentation de l'efficacité entraîne une augmentation de la consommation. Encore appelé « effet rebond », ce phénomène montre comment l'efficacité peut augmenter la croissance économique.

Ce résultat est aussi lié au choix de l'exploitation d'élevage. Le cas type simulé avait initialement une autonomie fourragère élevée avec une production de lait standard sans valorisation supplémentaire. Dans ce cas, la possibilité d'acheter de la luzerne, a offert à l'exploitation une ressource supplémentaire. Ceci a entraîné une intensification de la production ainsi qu'une augmentation des consommations extérieures et par conséquent une plus grande sensibilité au prix des intrants et des produits. Il pourrait être intéressant de refaire les mêmes simulations avec une exploitation ayant une meilleure valorisation du lait (production de fromage AOP par exemple) avec un bilan fourrager déséquilibré, comme ce peut être le cas dans les élevages de haute-montagne ayant peu de surfaces de fauche en vallée. Ce type d'exploitation aura un pouvoir économique relativement plus fort que l'exploitation en lait standard et des exigences plus grandes sur la traçabilité de ses matières premières. Les résultats de nos simulations pourraient être plus en faveur de la filière foin de luzerne.

D'autre part, les contrats que nous avons mis en place n'ont pas eu l'effet escompté. Ils n'ont pas permis de réduire la variabilité du revenu des deux exploitations. Cependant, la mise en place d'un contrat chez l'éleveur réduit sa consommation en tourteau de soja et en luzerne déshydratée. Si nous faisons le bilan des changements (Tableau 2) engendrés par cette filière sur les deux exploitations, nous observons une diminution de la fertilisation azotée mais une augmentation de la fertilisation en potassium et phosphore. On observe également une diminution de l'achat de concentrés protéiques et énergétiques produits hors région. Cependant cette diminution est contre balancée par des achats pouvant être d'origine locale, mais qui sont en quantité bien plus conséquente pour l'exploitation d'élevage.

Tableau 2 : Bilan de l'effet de la filière sur la consommation en intrant de synthèse et en alimentation animale

Grandes-culture	Elevage
Fertilisation N -32%, P +7%, K +52%	- 2 t de concentrés protéiques (produits hors région) + 28 t de foin de luzerne +11 t d'orge -10 t d'autres concentrés

3. Retour sur la méthodologie

Dans cette partie nous reviendrons sur les différents choix méthodologiques qui nous ont permis de réaliser ce travail. Nous verrons les intérêts et les difficultés rencontrés avant de présenter les perspectives envisagées.

3.1. Le travail avec les acteurs du développement

Nous avons comme objectif de travailler avec des acteurs du développement pour avoir une vision globale des systèmes de production de notre zone d'étude et un retour d'expérience de terrain. Les acteurs ont été consultés pour la prise en compte des contraintes et des attentes terrains. Sur ces éléments, nous avons réalisé la conception et les adaptations du modèle. Cette situation se rapproche de la « consultation » décrite par Barreteau et al. (2010). Cette partie du travail a été très enrichissante. Lors des ateliers les acteurs se sont impliqués. Il y a eu beaucoup d'échanges et de partage d'expériences. Nous avons pu atteindre notre premier objectif qui consistait à définir avec eux une démarche de coopération culture-élevage qui pourrait répondre à une problématique terrain qu'ils auraient pu rencontrer. Cependant, l'organisation des réunions a parfois pris du temps en particulier pour programmer une date de réunion compatible avec les disponibilités des conseillers. Notre volonté était au départ de faire davantage d'aller-retour entre les ateliers et les temps de modélisation mais les temps de paramétrage et de simulation étant assez longs, nous n'avons pu réaliser qu'un seul retour par groupe.

3.2. Potentialité et limites de la modélisation pour répondre à notre problématique

3.2.1. Généricité de la modélisation

Afin de répondre à notre problématique de recherche, nous avons choisi d'adapter un modèle déjà existant. Le modèle ORFEE est un modèle bioéconomique qui prenait déjà en compte plusieurs types d'élevages de ruminants (bovins laitier et allaitant, ovin allaitant) sur sept zones climatiques et topographiques françaises (Mosnier et al. 2019). Ce modèle permet de simuler un grand nombre de combinaisons de cultures avec des contraintes de fréquence de rotation adaptables en fonction d'un choix de conduite (intensive, conventionnelle, intégrée ou en agriculture biologique). Douze types de sols sont également implémentés dans les modèles et permettent de préciser certains processus relatifs aux caractéristiques du sol. Cette diversité de variables et de paramètres offre la possibilité d'étudier les mêmes pratiques dans des contextes pédoclimatiques et socio-économiques différents.

3.2.2. Pertinence de la modélisation

Selon Janssen et Van Ittersum (2007), il existe souvent un écart entre les résultats du modèle et ce que l'on veut représenter. Pour l'échange paille-fumier, la modélisation effectuée était plutôt une simulation qu'une véritable optimisation. En effet, une grande partie des variables étaient bloquées. Cela nous a permis de nous rapprocher des données du cas types. Cependant, nous n'avons réalisé qu'une représentation partielle des processus biologiques, économiques et politiques de la situation réelle. Pour représenter l'effet de l'amélioration des stocks de matière organique dans les sols, leurs effets sur le rendement des cultures et sur les opérations culturales, nous avons préféré utiliser une méthode relativement simple du COMIFER

(COMIFER, 2013) plutôt que de réaliser un couplage avec un modèle « sol ». Ce choix ne nous offre qu'une représentation très partielle de ses effets puisqu'on ne modélise pas la dynamique du carbone dans le sol. Il a été difficile d'obtenir des références précises et quantifiées sur les processus en jeu entre l'application du fumier, l'augmentation de matière organique et leur effet sur l'amélioration de la structure du sol et sur les cultures (rendement, santé des plantes, mécanisation). Il existe peu d'informations sur la valeur du fumier et son effet sur l'économie de l'exploitation au-delà de sa composition en nutriment (azote, phosphore et potassium). Dans les cas où nous avons trouvé ces informations, elles s'appliquaient à des conditions pédoclimatiques tellement précises qu'il était compliqué de pouvoir les généraliser et les appliquer à nos exploitations. Nous avons eu recours à la littérature grise et l'avis d'expert pour faire les choix pour certains critères (recommandations sur les quantités et la bonne fréquence d'épandage par exemple). D'autre part, nous avons été confrontés à des difficultés pour trouver des données de la littérature pouvant être directement reliées avec les équations et les paramètres déjà présents dans le modèle. Nous avons dû adapter certains processus et leur réponse en une représentation parfois simpliste pour arriver à une répercussion sur le bilan économique de l'exploitation.

Dans la modélisation de la filière foin de luzerne, nous avons laissé plus de liberté au modèle. Les résultats obtenus sont pour certains en décalage avec les cas types utilisés. On observe par exemple, un sous-effectif du cheptel par rapport au cas type élevage. Ceci peut être dû à une approximation de la représentation du système de production, une sous-estimation des rendements des prairies par exemple. L'optimisation de la rentabilité économique de l'exploitation peut aussi pousser le modèle à préférer vendre du foin qu'à en acheter. Il a fait le choix de réduire le troupeau pour avoir suffisamment de ressources. De la même façon, dans les résultats du modèle, on remarque la disparition des surfaces en tournesol et en maïs ensilage présentes dans les cas types. Il est possible que dans les conditions de prix et de rendement simulées, ces cultures soient moins rentables que les autres cultures et que les contraintes de rotation ne bloquent pas l'augmentation de la surface de ces dernières.

D'autre part, le modèle que nous avons utilisé est défini comme statique et par conséquent non récursif, cela signifie qu'il ne prend pas en compte les événements passés pour prendre des décisions. Il y a donc un décalage entre un pilotage stable à long terme (insensible aux aléas du moment), et un pilotage « quotidien » qui prend en compte la réalité vécue et immédiate. Néanmoins, plusieurs éléments ont été mis en place pour représenter l'effet des pratiques de l'année n sur l'année $n+1$. Le modèle simule les effets précédant-suivants sur les cultures, qui représente l'effet d'une succession culturale. Nous avons ajouté la possibilité de stocker des fourrages d'une année à l'autre. Nous avons également ajouté une variabilité interannuelle du rendement des cultures, ce qui donne une meilleure représentation des aléas et des incertitudes rendement. Toutefois, le modèle optimise le système de production sur l'ensemble des années de simulations. Il connaît dès la première année les prix et les rendements pour toutes les années de simulation. Il prend ses décisions et optimise le fonctionnement de l'exploitation avec une information complétée sur 8 ans, contrairement à un agriculteur qui ne possède pas ces informations et qui prend des décisions avec une incertitude. Les volumes souscrits pour le foin de luzerne auraient peut-être été plus importants si le modèle n'avait pas ces informations. Pour ajouter de l'incertitude dans le

modèle, il faudrait faire des simulations année par année. Dans ce cas de figure, le modèle n'optimiserait pas l'exploitation en rythme de croisière et devrait faire face à plus d'ajustements pour s'adapter à un nouveau contexte prix et rendement (Mosnier 2009).

Plus le modèle est spécifique et exhaustif plus il est complexe. Le modèle ORFEE est un modèle complexe. Il offre une grande souplesse dans le choix de ce que l'on veut représenter. Il crée également, une plus grande responsabilité pour l'utilisateur. La description d'un système de production demande l'utilisation de nombreux paramètres (Rotz et al., 2012). C'est pourquoi le modèle a été relativement difficile à prendre en main. Il est donc important d'être parcimonieux dans le choix de gagner en complexité et en réalisme des processus modélisés et ne pas perdre trop de temps en recherche de données, en temps de calcul et en compréhension des sorties du modèle.

Janssen et van Ittersum (2007) abordent également la question de transférabilité du modèle. Selon eux, en principe, les modèles bioéconomiques sont construits pour être répliquables dans un contexte différent, mais dans les faits ce serait rarement le cas. Selon eux les modèles sont souvent spécifiques à un type de système et qui nécessite des paramétrages importants si l'on souhaite changer de systèmes de production ou de contexte pédoclimatique par exemple. ORFEE est un modèle qui peut être transposable à un grand nombre de situations. L'analyse de sensibilité que nous avons réalisée dans l'expérimentation sur les échanges paille-fumier montre une stabilité relative des résultats obtenus par rapport au changement de la valeur de certains paramètres.

Les résultats de nos simulations peuvent, être utilisés pour définir le champ des possibles et servir de support de réflexion et de discussion avec les acteurs du développement qui ont participé à cette étude et qui s'intéressent. L'intérêt par rapport à des expérimentations analytiques est qu'il prend en compte un très grand nombre de critères et est beaucoup plus rapide à mettre en place et moins onéreux qu'une expérimentation système. Même si la modélisation peut s'avérer chronophage, certains processus que nous avons voulu simuler dans le modèle s'appliquent sur des périodes de plus de dix ans.

L'intérêt d'avoir travaillé avec des fermes fictives est que les cas types sont une source de données bien détaillées sur un système déjà optimisé. De plus, le cas type représente une exploitation en rythme de croisière ce qui permet de lisser les à-coups et avoir une approche à long terme. Cependant, le cas type représente une ferme moyenne optimisée représentative d'un groupe d'exploitations mais ce n'est pas une ferme réelle.

4. Perspectives

Les interactions culture-élevage à l'échelle de plusieurs exploitations spécialisées sont de plus en plus étudiées en recherche (Moraine et al., 2015 ; Ryschawy et al., 2018 ; Asai et al., 2018 ; Regan et al., 2017) et intéressent de plus en plus les acteurs du secteur agricole et les collectivités territoriales. Des témoignages ou des dossiers thématiques sur des démarches de coopération culture-élevage sont de plus en plus fréquents dans la presse agricole (« *Quand éleveurs et céréaliers réapprennent à échanger* » l'avenir agricole.net 2015 ; « *Eleveurs et céréaliers : échanges gagnants-gagnants* » entraid' 2015).

Ce qu'on a pu développer dans ce travail est une nouvelle piste pour aider les acteurs du développement à conseiller les agriculteurs sur des prix pour des produits dont les marchés n'existent pas forcément.

Ces produits qui circulaient auparavant d'un atelier à l'autre dans la même exploitation de polyculture-élevage, ont longtemps étaient dévalorisés et oubliés à cause d'un intérêt économique médiocre (effluent d'élevage, cultures fourragères). Ils reviennent au goût du jour, que ce soit pour répondre à des problématiques de préservation des ressources naturelles et des énergies non renouvelables, ou encore pour se prémunir des risques prix et d'une dépendance aux marchés internationaux.

Les pratiques étudiées se rapprochent en cela de plusieurs principes de l'agroécologie, du bouclage des cycles des nutriments, de la stimulation des processus biochimique pour la réduction de la dépendance aux importations de matière première riche en protéines

4.1.1. Les prochaines étapes

Pour parfaire, ces premières recherches nous pourrions élargir les simulations étudiées, en multipliant le nombre d'exploitations simulées dans des conditions pédoclimatiques et sociotechniques différentes. Comme nous l'avons évoqué dans la partie 2.2. de ce Chapitre, nous pourrions tester, des exploitations avec des productions sous signe de qualité (AOP, Agriculture Biologique, autres labels). Cela nous permettrait de comparer la mise en place de coopération avec des systèmes déjà impliqués dans des démarches agroécologiques par rapport à des systèmes conventionnels.

Nous pourrions complexifier et améliorer la représentation des interactions que nous avons simulées. Les contrats par exemples, mériteraient d'être complexifiés en ajoutant des contraintes supplémentaires sur la qualité de la luzerne par exemple. Pour améliorer le réalisme des résultats, il serait également intéressant d'améliorer la modélisation des décisions en présence de risque et de l'adaptation de ces décisions en fonction des aléas en améliorant les aspects dynamiques du modèle. Pour cela, nous pourrions réaliser des simulations année par année pour les contrats afin que la décision prenne en compte les événements passés mais sans une connaissance du futur.

Nous pourrions également ajouter de nouvelles modalités et tester d'autres produits comme le compost pour les échanges paille-fumier ou d'autres types de légumineuses pour la luzerne ou d'autres modes de conservation. Cela permettrait ainsi d'analyser quel serait le mode de traitement des effluents et le type de légumineuse les plus avantageux à la fois pour l'éleveur et le céréalier, selon leur contexte de production et la distance qui les sépare. Nous pourrions aussi réfléchir à plus d'interactions culture-élevage à implémenter dans le modèle comme la mise en commun d'outil de production (surface, matériel), comme nous l'avons vu dans les démarches étudiées dans le premier axe. Cependant, si l'on souhaite étudier d'autres interactions entre culture-élevage, de nouvelles adaptations seront à effectuer sur le modèle comme ce fut le cas pour les deux interactions simulées lors de ce travail.

Le pâturage d'inter-cultures me semble être une piste intéressante à creuser, d'autant plus qu'elle a été implémentée récemment dans le modèle. En parallèle de ma thèse et dans le

cadre du projet POEETE, Aymeric Mondière a réalisé des simulations sur des fermes de lycées agricoles pour optimiser les fonctionnements des systèmes PCE à l'échelle de l'exploitation. Ce travail a été mené en coordination avec 4 lycées agricoles participant au projet, selon 4 scénarios principaux. Pour cela de nouvelles techniques ont été implémentées dans le modèle : le pâturage tournant dynamique et l'utilisation d'interculture (fourragère ou CIPAN (Culture Piège à Nitrate)).

4.1.2. La modélisation d'un système polyculture-élevage idéal

Finalement, les interactions culture-élevages, comme nous avons pu les simuler, ne requestionnent pas outre mesure le modèle de production actuel. La plupart des exploitations enquêtées ou simulées reste dans le paradigme actuel de ce que les sociologues appellent la « modernité ». Le modèle « moderne » tel qu'il est décrit par Latour (2012) fait référence à trois mondes de justifications des pratiques des agriculteurs. Le monde « marchand », correspond à la recherche de rentabilité. L'agriculteur choisit des pratiques parce qu'elles lui permettent de dégager un bénéfice. Le second monde est le monde « industriel », ce dernier, fait référence à la recherche de technicité et de productivité fondées sur des validités scientifiques. Enfin, le dernier monde est le « rapport au contrôle de la nature », dans ce cadre le point de vue de l'agriculture est que les processus naturels doivent être contrôlé à l'aide de la technique, il ne considère pas qu'il soit possible de faire avec les processus naturels.

Les travaux de Jarousse (2018) et Mondière (2018) menés dans le cadre du projet POEETE ont montré que les exploitations en polyculture-élevage avaient plus facilement des trajectoires pour s'extraire du système moderne que des agriculteurs spécialisés, même si tous souhaitent améliorer la durabilité de leur système (durabilité économique, environnementale et sociale).

Le modèle tel qu'il a été utilisé dans cette étude, ne permet pas non plus de sortir de ce modèle de production (marchand et industriel). On ne fait qu'une substitution de certains produits par d'autres mais on ne va pas jusqu'à un changement de pratique ou une reconception plus globale du système (Dumont et al., 2013). En effet, nous avons sélectionné une fonction objective qui maximise le revenu de l'agriculteur. Par cela, il entre dans les mondes marchands, (recherche de rentabilité) et industriels (optimisation de système de production). De plus, nous avons déterminé le prix d'intérêt de la marchandise, en fonction de l'équilibre entre le résultat courant du témoin et celui des scénarios avec nos interactions (fumier et foin de luzerne). Finalement, chaque exploitation est optimisée selon un raisonnement économique. Cependant l'interaction de plusieurs exploitations permet des reconnections à une échelle plus vaste. Nous aurions pu déterminer le prix d'intérêt en équilibrant la fonction objective de chacun des scénarios. Dans le cas présent, nous aurions en plus pris en compte le coût du travail et l'aversion au risque. Nous pourrions également envisager d'ajouter de nouveaux objectifs à la fonction, comme par exemple un objectif de produire avec une faible consommation en intrants ou minimiser les émissions de gaz à effet de serre.

Nous pourrions aussi envisager que les changements s'effectuent à une échelle plus large que celle de l'exploitation, et se traduit plutôt par une re-conception des modes d'organisation entre les agriculteurs et les autres acteurs du territoire. Comme à l'échelle de l'exploitation, des interactions étroites entre culture et élevage peuvent permettre d'améliorer l'autonomie

en alimentation animale en favorisant l'utilisation efficiente d'une diversité de ressources locales. Les deux interactions que nous avons étudiées font partie des pratiques qui permettent de re-coupler les cycles de l'azote et du carbone. Elles améliorent la qualité des sols via l'utilisation de matières organiques et la diversification des cultures. Ce type d'interactions avec des transactions de matières premières locales et tracées pourrait également permettre d'améliorer la valeur ajoutée de produits avec des accords entre les agriculteurs et d'autres acteurs du secteur pour labelliser des filières de productions locales. Ceci fait écho à la marque développée par la coopérative pour le tourteau de soja et le foin de luzerne Loc'Alp. Ces projets de territoire devraient être encouragés par les collectivités (Moraine 2015) avec l'adoption de politiques de développement local, favorisant à la fois le développement de marchés locaux pour une diversité de cultures et le développement d'un tissu social.

Lors du séminaire sur la polyculture-élevage tenu en octobre 2017, Ryschawy et al. ont présenté les travaux du focus group européen EIP agri (polyculture-élevage) qui a pour vocation de soutenir le secteur agricole et valoriser les atouts de la polyculture-élevage pour la transition agroécologique. Dans ces travaux est fait le constat des freins au maintien et au développement des systèmes de polyculture-élevage. Nous avons vu précédemment que plusieurs de ces freins sont encore limitants pour des interactions culture-élevage à l'échelle de plusieurs exploitations. Dans ces freins, on retrouve le manque de connaissances de l'utilisation de ressources locales et la gestion de cultures alternatives hors marché organisé.

La faible rentabilité à court terme de ces démarches que nous avons pu relever dans ce travail, n'encourage pas les agriculteurs à coopérer. Ces résultats se retrouvent au niveau de l'exploitation, et en particulier sur la rémunération du travail (Ryschawy et al. 2017). D'autant plus qu'il existe un certain nombre de freins logistiques à l'échange d'alimentation animale et d'effluents d'élevage entre exploitation même s'ils peuvent être réduits par l'intervention d'un tiers (coopérative).

Enfin, l'organisation « verticale » du conseil agricole et de l'éducation et le transfert de connaissance de type top-down, ne favorise pas l'émergence et la diffusion d'expérimentations venant du terrain alors que ces démarches se développent dans certains cas de façon spontanée pour répondre à un problème momentané.

Conclusion générale



« Que je dédicace aux spies, merci les filles pour votre soutien et votre aide ! »

Ce travail avait pour objectif de faire une estimation économique de la mise en place d'interactions culture-élevage à l'échelle de plusieurs exploitations agricoles.

Une première étude sur l'analyse des coûts de transactions de quatre démarches de coopération entre exploitations sur des interactions culture-élevage, a permis de brosser un rapide portrait de différents types de coopérations existantes et de déterminer les freins et les leviers pour faciliter la mise en place de telles démarches. La nature de la marchandise ou de l'outil de production échangé a un impact significatif sur les coûts de transactions. Les spécificités de cet objet (marchandises, matériel ou foncier mutualisé) peuvent demander des investissements économiques et humains parfois limitants pour la mise en place d'une coopération. Selon la littérature, les relations interpersonnelles sont très importantes surtout lorsque du capital est mis en commun. Nous avons également pu l'observer dans certaines des démarches étudiées (assolement en commun, pâture d'ovins chez un céréalier) que les relations entre les partenaires avaient été d'abord amicales, avant d'être professionnelles. Cependant, dans la cadre de la transition agro-écologique, si l'on veut diffuser ces démarches, il faut montrer l'intérêt de ces dernières à des agriculteurs qui n'ont pas forcément de relation avec des exploitations complémentaires et/ou leur donner des références pour négocier convenablement les échanges de marchandises qui n'ont par exemple pas de marché organisé.

La seconde étude portait sur l'estimation du prix d'intérêt du fumier dans un échange paille-fumier à l'aide d'un modèle bioéconomique. Les premières simulations ont montré que le céréalier a intérêt à acheter le fumier entre 10 et 17€/t, en fonction de nos différentes hypothèses des effets, à court et long terme de l'application de fumier, liés à l'augmentation des stocks de matière organique dans les sols. L'éleveur peut vendre, voire céder, 20% de son fumier sans perte économique. Cependant, le transport d'une exploitation à l'autre n'est pas pris en compte dans nos estimations. Ce dernier, peut être couvert par l'écart entre le prix de vente et prix d'achat. Selon des références techniques ce coût environne les 2,7 €/t de fumier transporté à une distance de 10 km.

La troisième étude, portait sur la modélisation d'une filière courte de foin de luzerne. Notre objectif était de déterminer le prix de vente auquel un céréalier serait prêt à implanter de la luzerne et le prix d'intérêt pour l'achat de foin de luzerne pour un éleveur. Nous avons choisi d'étudier cette démarche avec une exploitation céréalière de plaine et un élevage de piedmont/montagne représentatifs d'exploitations présentes dans la région Rhône-Alpes. Dans cette modélisation nous avons voulu tester l'effet d'un contrat sur la stabilisation du revenu des agriculteurs sur la période de 2010 à 2017 couvrant différentes conjonctures de prix et de politiques publiques. Nous avons considéré que cette filière pouvait bénéficier du soutien logistique d'un tiers, une coopérative qui pourrait faciliter les échanges entre céréaliers et éleveurs et éventuellement les sécuriser via des contrats. Les simulations montrent qu'un accord sur le prix de vente et d'achat du foin de luzerne peut être trouvé entre les deux exploitations et que le delta entre les deux prix (entre 167 et 189 €/t) pourrait permettre de rémunérer les services de la coopérative. L'implantation de luzerne permet de stabiliser le revenu de l'exploitation en grandes-culture. En revanche, la mise en place d'un contrat avec un prix fixe sur trois ans n'a pas d'effet supplémentaire sur la stabilité du revenu. Pour l'exploitation d'élevage, la possibilité d'acheter de la luzerne entraîne une intensification de la

production avec un agrandissement du cheptel. La mise en place d'un contrat permet de sécuriser le prix des fourrages mais diminue l'autonomie alimentaire de l'exploitation.

A travers ces résultats, nous avons montré que l'intérêt économique de ces deux démarches est plutôt restreint. Il ne permet pas de bénéfices économiques notables mais ne dégrade pas les revenus. La modélisation de ces interactions cultures-élevage offre un premier support de réflexion et de discussion avec les acteurs de développement qui ont participé à cette étude. D'autres scénarios pourraient être testés sur ces interactions pour étendre le champ des possibles. Nous pourrions tester d'autres systèmes de production pour déterminer les systèmes qui ont le plus à profiter de ces coopérations. Nous pourrions également estimer les volumes de marchandises qui pourraient être concernés sur un territoire pour déterminer plus précisément l'offre et la demande locales. Ces démarches mériteraient d'être développées et aidées car elles représentent plus qu'un service de production (bénéfices environnementaux et agronomiques). En effet, des exploitations qui réalisent des interactions culture-élevage de ce type, assurent d'autres services écosystémiques comme la préservation de la fertilité des sols, la protection de l'environnement, la préservation des ressources non renouvelables. Elles peuvent également engendrer un dynamisme et une autonomie local ainsi qu'une meilleure traçabilité des produits avec une relocalisation de la production de matières premières.

Références

- Agreste Auvergne-Rhône-Alpes, 2019. Memento 2019 : données 2017 sur les SIQO en auvergne-Rhône-Alpes.
- Agreste Auvergne-Rhône-Alpes, 2018. Mémento de la statistique agricole. Edition 2018.
- Agreste Bourgogne Franche-Comté, 2018. Memento de la statistique agricole.
- Alig, M., Mischler, P., 2015. Synthesis of environmental impacts of mixed versus specialized farms (Deliverable Cantogether project D2.6).
- Altieri, M.A., 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93, 1–24. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3)
- Altieri, M.A., 1987. *Agroecology: The Scientific Basis Of Alternative Agriculture*, 1 edition. ed. Westview Press, Boulder, Colo.
- Andersson, H., Larsén, K., Lagerkvist, C.-J., Andersson, C., Blad, F., Samuelsson, J., Skargren, P., 2005. Farm Cooperation to Improve Sustainability. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 34, 383–387. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-34.4.383>
- Arrègle, J.-L., Amburgey, T., Dacin, T., 1998. Le rôle des capacités organisationnelles dans le développement des réseaux d'entreprises : une application aux alliances. *Revue Finance Contrôle Stratégie* 1, 7–25.
- Asai, M., 2013. Understanding collaborative partnerships between farmers: The case of manure partnerships in Denmark. Copenhagen, Copenhagen.
- Asai, M., Langer, V., 2014. Collaborative partnerships between organic farmers in livestock-intensive areas of Denmark. *Science + Business*.
- Asai, M., Langer, V., Frederiksen, P., Jacobsen, B.H., 2014. Livestock farmer perceptions of successful collaborative arrangements for manure exchange: A study in Denmark. *Agricultural Systems* 128, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.03.007>
- Asai, M., Moraine, M., Ryschawy, J., de Wit, J., Hoshide, A.K., Martin, G., 2018. Critical factors for crop-livestock integration beyond the farm level: A cross-analysis of worldwide case studies. *Land Use Policy* 73, 184–194.
- Barreteau, O., Bots, P., Daniell, K., 2010. A Framework for Clarifying Participation in Participatory Research to Prevent its Rejection for the Wrong Reasons. *Ecology and Society* 15, 22 p.
- Bell, L.W., Moore, A.D., 2012. Integrated crop–livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. *Agricultural Systems* 111, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.04.003>
- Bell, L.W., Moore, A.D., Kirkegaard, J.A., 2014. Evolution in crop–livestock integration systems that improve farm productivity and environmental performance in Australia. *European Journal of Agronomy, Integrated crop-livestock* 57, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.04.007>

- Benali, M., 2005. Une modélisation des liens de coopération et des trajectoires d'évolution des réseaux d'entreprises. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.
- Bennett, A.J., Bending, G.D., Chandler, D., Hilton, S., Mills, P., 2012. Meeting the demand for crop production: the challenge of yield decline in crops grown in short rotations. *Biological Reviews* 87, 52–71. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00184.x>
- 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, Integrated crop-livestock* 57, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.09.010>
- Bouamra-Mechemache, Z., Duvaléix-Treguer, S., Ridier, A., 2014. Contrats et modes de coordination en agriculture (University works). auto-saisine.
- Boudet, S., 2015. Etude de relations de coopérations établies entre céréaliers et éleveurs : évaluation des bénéfices réciproques et des conditions de réussites à l'échelle des systèmes (Rapport de fin d'étude). Université de Lorraine, Institut de l'élevage.
- Brunschwig, P., Lamy, J.M., David, D., 2005. Ensilage ou foin de luzerne en ration d'ensilage de maïs pour vaches laitières en milieu de lactation. *Rencontres recherches ruminants*.
- Cabrera, V.E., Breuer, N.E., Hildebrand, P.E., Letson, D., 2005. The dynamic North Florida dairy farm model: A user-friendly computerized tool for increasing profits while minimizing N leaching under varying climatic conditions. *Computers and Electronics in Agriculture* 49, 286–308. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.07.001>
- Cernay, C., Makowski, D., Pelzer, E., 2018. Preceding cultivation of grain legumes increases cereal yields under low nitrogen input conditions. *Environ Chem Lett* 16, 631–636. <https://doi.org/10.1007/s10311-017-0698-z>
- Chambre d'agriculture de l'oise, n.d. Barèmes fourrages 2018 HT.
- Charleuf, M., 2018. Relation Taille-Travail-Spécialisation-Equipement (mécanisation): avantages/particularités des systèmes en polyculture-élevage. AgroCampus Ouest.
- Charrier, F., Magrini, M.B., Charlier, A., Fares, M., Le Bail, M., Messéan, A., Meynard, J.-M., 2013. Alimentation animale et organisation des filières : une comparaison pois protéagineux-lin oléagineux pour comprendre les facteurs freinant ou favorisant les cultures de diversification. *OLC* 20.
- Chatellier, V., Gaigné, C., 2012a. Les logiques économiques de la spécialisation productive du territoire agricole français. *Innovations Agronomiques* 22, 185–203.
- Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée, 2013. Calcul de la fertilisation azotée : guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales : cultures annuelles et prairies.
- Cordier, J., Erhel, A., Pindard, A., Courleux, F., 2008. Le gestion des risques en agriculture de la théorie à la mise en œuvre: éléments de réflexion pour l'action publique. Notes et études

économiques, ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire 33–71.

de Moraes, A., Carvalho, P.C. de F., Anghinoni, I., Lustosa, S.B.C., Costa, S.E.V.G. de A., Kunrath, T.R., 2014. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*, Integrated crop–livestock 57, 4–9. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.004>

de Wit, J., Prins, U., Baars, T., Instituut, L.B., Dribergen, L., 2006. Partner Farms; experiences with livestock farming system research to support intersectoral cooperation 5.

Dedieu, M.-S., Courleux, F., 2009. Les enjeux de la régulation du secteur laitier. *Analyse Prospective et évaluation*.

Delmotte, S., Lopez-Ridaura, S., Barbier, J.-M., Wery, J., 2013. Prospective and participatory integrated assessment of agricultural systems from farm to regional scales: Comparison of three modeling approaches. *Journal of Environmental Management* 129, 493–502. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.001>

Deytieux, V., Vivier, C., Minette, S., Nolot, J.M., Piaud, S., Schaub, A., Lande, N., Petit, M.S., Reau, R., Fourrié, L., Fontaine, L., 2012. Expérimentation de systèmes de culture innovants : avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle. *Innovations Agronomiques* 20, 49–78.

Domingues Santos, J.P., 2017. Socioecological metabolism of livestock areas: an environmental accounting approach (Thèse). AgroParisTech, Paris, France.

Dumont, B., Fortun-Lamothe, L., Jouven, M., Thomas, M., Tichit, M., 2013. Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal* 7, 1028–1043. <https://doi.org/10.1017/S1751731112002418>

Dyer, J.H., 1997. Effective interim collaboration: how firms minimize transaction costs and maximise transaction value. *Strategic Management Journal* 18, 535–556. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:7<535::AID-SMJ885>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<535::AID-SMJ885>3.0.CO;2-Z)

Ferber, J., 1997. LES SYSTEMES MULTI-AGENTS. Vers une intelligence collective. Dunod, Paris.

Flichman, G., Jacquet, F., n.d. Le couplage des modèles agronomiques et économiques : intérêt pour l'analyse des politiques. *Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales INRA Editions*, 51–69.

Franzuebbers, A., Lemaire, G., de Faccio Carvalho, P., Sulc, R.M., Dedieu, B., 2014. Toward agricultural sustainability through integrated crop–livestock systems. II. Production responses. *European Journal of Agronomy* 57, 1–3.

Gaigné, C., 2006. The “Genome” of Neg Models with Vertical Linkages: A Comment on the Welfare Analysis (SSRN Scholarly Paper No. ID 917732). Social Science Research Network, Rochester, NY.

Gaigné, Letord, 2017. Co-localisation des différentes productions animales en Europe : l'exception française ? *INRA Prod. Anim.* 219–228.

- Garrett, R.D., Niles, M.T., Gil, J.D.B., Gaudin, A., Chaplin-Kramer, R., Assmann, A., Assmann, T.S., Brewer, K., de Faccio Carvalho, P.C., Cortner, O., Dynes, R., Garbach, K., Kebreab, E., Mueller, N., Peterson, C., Reis, J.C., Snow, V., Valentim, J., 2017. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: Current knowledge and remaining uncertainty. *Agricultural Systems* 155, 136–146. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.05.003>
- Groot, J.C.J., Jellema, A., Rossing, W.A.H., 2010. Designing a hedgerow network in a multifunctional agricultural landscape: Balancing trade-offs among ecological quality, landscape character and implementation costs. *European Journal of Agronomy, Cropping Systems Design: new methods for new challenges* 32, 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.07.002>
- Groot, J.C.J., Oomen, G.J.M., Rossing, W.A.H., 2012. Multi-objective optimization and design of farming systems. *Agricultural Systems* 110, 63–77. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.03.012>
- Groot, J.C.J., Rossing, W.A.H., Jellema, A., Stobbelaar, D.J., Renting, H., Van Ittersum, M.K., 2007. Exploring multi-scale trade-offs between nature conservation, agricultural profits and landscape quality—A methodology to support discussions on land-use perspectives. *Agriculture, Ecosystems & Environment, Multifunctionality of Agriculture: Tools and Methods for Impact Assessment and Valuation* 120, 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.037>
- Hardaker, J.B., 2004. *Coping with Risk in Agriculture*. CABI.
- Havet, A., Coquil, X., Fiorelli, J.L., Gibon, A., Martel, G., Roche, B., Ryschawy, J., Schaller, N., Dedieu, B., 2014. Review of livestock farmer adaptations to increase forages in crop rotations in western France. *Agriculture, Ecosystems & Environment, Integrated Crop-Livestock System Impacts on Environmental Processes* 190, 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.009>
- Havlík, P., Valin, H., Herrero, M., Obersteiner, M., Schmid, E., Rufino, M.C., Mosnier, A., Thornton, P.K., Böttcher, H., Conant, R.T., Frank, S., Fritz, S., Fuss, S., Kraxner, F., Notenbaert, A., 2014. Climate change mitigation through livestock system transitions. *PNAS* 111, 3709–3714. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308044111>
- Hendrickson, J.R., Hanson, J. d., Tanaka, D.L., Sassenrath, G., 2008. Principles of integrated agricultural systems: Introduction to processes and definition. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23, 265–271. <https://doi.org/10.1017/S1742170507001718>
- 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., Lynam, J., Parthasarathy Rao, P., Macmillan, S., Gerard, B., McDermott, J., Seré, C., Rosegrant, M., 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science* 327, 822–825. <https://doi.org/10.1126/science.1183725>
- Horlings, L.G., Marsden, T.K., 2011. Towards the real green revolution? Exploring the conceptual dimensions of a new ecological modernization of agriculture that could ‘feed the world.’ *Global Environmental Change, Special Issue on The Politics and Policy of Carbon Capture and Storage* 21, 441–452. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.004>
- Inra 2007, T., 2010. *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoin des animaux, Valeurs des aliments. Mise à jour 2010*, 2nd ed. Editions QUAE GIE, Versailles Cedex.

- Janssen, S., Ittersum, M.K. van, Louhichi, K., Kanellopoulos, A., Meuter, E., Hengsdijk, H., Zander, P., Thorne, P.J., Flichman, G., Fonseca, M.L., Borkowski, N., Hecker, M., Stokstad, G., Romstad, E., Berentsen, P., Lansink, A.O., Keulen, H.V., Thornton, P.K., Li, H., Rizzoli, A.E., Heckeleei, T., 2009. Integration of all FSSIM components within SEAMLESS-IF and a stand alone Graphical User Interface for FSSIM.
- Janssen, S., van Ittersum, M.K., 2007. Assessing farm innovations and responses to policies: A review of bio-economic farm models. *Agricultural Systems, Special Section: sustainable resource management and policy options for rice ecosystems* 94, 622–636. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2007.03.001>
- Jarousse, A., Cayre, P., Goron, J.-P., Brunschwig, G., 2018. Une méthode combinant approches sociologique et biotechnique pour étudier la transition agroécologique de systèmes de polyculture-élevage.
- Jeuffroy, M.-H., Biamès, V., Cohan, J., Corre-Hellou, G., Gastal, F., Jouffret, P., Justes, E., Landé, N., Louarn, G., Plantureux, S., Schneider, A., Thiébeau, P., Valantin-Morison, M., Vertès, F., 2015. Performances agronomiques et gestion des légumineuses dans les systèmes de productions végétales, in: *Les Légumineuses Pour Des Systèmes Agricoles et Alimentaires Durables*, QUAE. pp. 139–222.
- Jouan, J., Ridier, A., Carof, M., 2018. SYNERGY: a bio economic model assessing the economic and environmental impacts of increased regional protein self-sufficiency (No. hal-01937084), Post-Print. HAL.
- Jouan, J., Ridier, A., Carof, M., 2019. Economic Drivers of Legume Production: Approached via Opportunity Costs and Transaction Cost. *Sustainability* 11, 1–14. <https://doi.org/10.3390/su11030705>
- Lal, R., 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science* 304, 1623–1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
- Latour, B., 2012. Enquête sur les modes d'existence. Une anthropologie des Modernes, La découverte. ed.
- Lecadre, A., 2015. La sécurisation des relations contractuelles entre exploitants céréaliers et éleveurs (Rapport de fin d'étude). Université de Poitiers, Poitiers.
- Legay, J.-M., 1997. L'expérience et le modèle : Un discours sur la méthode, 1st ed. INRA, Paris.
- Leip, A., Weiss, F., Wassenaar, T.D., Perez, I., Fellman, T., Loudjani, P., Tubiello, F., Grandgirard, D., Monni, S., Biala, K., 2010. Evaluation of the livestock sector's contribution to the EU greenhouse gas emissions (GGELS). Commission Européenne.
- Lemaire, G., Franzluebbers, A., Carvalho, P.C. de F., Dedieu, B., 2014. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment, Integrated Crop-Livestock System Impacts on Environmental Processes* 190, 4–8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>

- Lengers, B., Britz, W., Holm-Müller, K., 2014. What Drives Marginal Abatement Costs of Greenhouse Gases on Dairy Farms? A Meta-modelling Approach. *Journal of Agricultural Economics* 65, 579–599. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12057>
- Louhichi, K., Flichman, G., Zekri, S., 1999. A bio-economic model for analyzing the impact of soil and water conservation policies applied to a Tunisian farm. *Economie Rurale* 252, 55–64.
- Louhichi, K., Kanellopoulos, A., Janssen, S., Flichman, G., Blanco, M., Hengsdijk, H., Heckeley, T., Berentsen, P., Lansink, A.O., Ittersum, M.V., 2010. FSSIM, a bio-economic farm model for simulating the response of EU farming systems to agricultural and environmental policies. *Agricultural Systems* 103, 585–597. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.06.006>
- Lucas, V., Gasselin, P., Thomas, F., Vaquié, P.F., 2014. Coopération agricole de production : quand l'activité agricole se distribue entre exploitation et action collective de proximité, in: *L'agriculture En Famille: Travailler, Réinventer, Transmettre*. INRA-SAD.
- Magrini, M.-B., Anton, M., Cholez, C., Corre-Hellou, G., Duc, G., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J.-M., Pelzer, E., Voisin, A.-S., Walrand, S., 2016. Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system. *Ecological Economics* 126, 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.024>
- Martel, G., Aviron, S., Joannon, A., Lalechère, E., Roche, B., Boussard, H., 2017. Impact of farming systems on agricultural landscapes and biodiversity: From plot to farm and landscape scales. *European Journal of Agronomy* 107, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.07.014>
- Martin, G., Martin-Clouaire, R., Duru, M., 2013. Farming system design to feed the changing world. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33, 131–149. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0075-4>
- Marton, S.M.R.R., Zimmermann, A., Kreuzer, M., Gaillard, G., 2016. Comparing the environmental performance of mixed and specialized dairy farms: the role of the system level analyzed. *Journal of Cleaner Production* 124, 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.074>
- Mawois, M., Vidal, A., Casagrande, M., Jeuffroy, M.-H., Le Bail, M., 2019. Transition to legume-based farming systems requires stable outlets learning and peer-networking. *Agronomy for Sustainable Development* 39.
- McCarl, B., Meeraus, A., Van der Eijk, P., Bussieck, M., Dirkse, S., Steacy, P., Nelissen, F., n.d. *Mc Carl GAMS user guide*.
- McCown, R., 2001. Learning to bridge the gap between science-based decision support and the practice of farming: Evolution in paradigms of model-based research and intervention from design to dialogue. <https://doi.org/10.1071/AR00119>
- Méda, B., Brulot, S., Etienne, M., Garcia-Launay, F., Leger, F., Maestracci, R., Perochon, L., Therond, O., Werdenberg, F., 2015. Vers une représentation partagée du fonctionnement des systèmes d'élevage : initier la dynamique collaborative du projet ArchiMod [WWW Document]. URL <https://prodinra.inra.fr/?locale=fr#!ConsultNotice:344368> (accessed 9.22.19).

- Meiss, H., 2010. Diversifying crop rotations with temporary grasslands: potentials for weed management and farmland biodiversity (thesis). Dijon.
- Meynard, J.-M., Messéan, A., Charlier, A., Charrier, F., Fares, M., Le Bail, M., Magrini, M.B., 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières. Synthèse du rapport d'étude, INRA 56.
- Milestad, R., Dedieu, B., Darnhofer, I., Bellon, S., 2012. Farms and farmers facing change: The adaptive approach 365–385. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_16
- Mischler, P., 2016. Casdar RED-SPyCE - Introduction de la journée : présentation générale du projet.
- Mischler, P., Veysset, P., 2015. Vers des définitions partagées de la polyculture-élevage, rapport du séminaire n°1 octobre 2014 (No. n°1).
- Mondière, A., 2018. Etude de la durabilité et de l'inscription dans la transition agro-écologique d'exploitations ayant abandonné la polyculture-élevage dans le Nord Isère (Mémoire de fin d'étude).
- Moraine, M., 2015. Conception et évaluation de systèmes de production intégrant culture et élevage à l'échelle du territoire. Université de Toulouse.
- Moraine, M., Grimaldi, J., Murgue, C., Duru, M., Therond, O., 2016. Co-design and assessment of cropping systems for developing crop-livestock integration at the territory level. *Agricultural Systems* 147, 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.06.002>
- Mosnier, C., Agabriel, J., Lherm, M., Reynaud, A., 2009. A dynamic bio-economic model to simulate optimal adjustments of suckler cow farm management to production and market shocks in France. *Agricultural Systems* 102, 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.07.003>
- Mosnier, C., Duclos, A., Agabriel, J., Gac, A., 2017. Orfee: A bio-economic model to simulate integrated and intensive management of mixed crop-livestock farms and their greenhouse gas emissions. *Agricultural Systems* 157, 202–215. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.07.005>
- Mosnier, C., Wieck, C., 2012. Dynamiques régionales de la production laitière : France - Allemagne - royaume-Uni. *Économie rurale* 332, 132–146.
- Nemecek, T., von Richthofen, J.-S., Dubois, G., Casta, P., Charles, R., Pahl, H., 2008. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *European Journal of Agronomy* 28, 380–393. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.11.004>
- Nettier, B., 2016. Adaptation au changement climatique sur les alpages. Modéliser le système alpage-exploitations pour renouveler les cadres d'analyse de la gestion des alpages par les systèmes pastoraux. Université de Grenoble Alpes.
- Pellerin, S., Bamière, L., 2019. Stocker du carbone dans les sols français : quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? (Synthèse de l'étude réalisée pour l'ADEME et le Ministère de l'agriculture et de l'alimentation). INRA.

- Perrot, C., 2011. Economie d'échelle et économies de gamme en élevage bovin laitier. Institut de l'Élevage 126.
- 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*, Integrated crop-livestock 57, 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.02.005>
- Pierre, G., 2013. Produire pour son territoire. De l'autonomie agricole au projet local agri-énergétique. Illustrations dans l'Ouest français (Rapport HDR).
- Preissel, S., Reckling, M., Schläfke, N. & Zander, P. 2015. Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. *Field Crops Research* 175, 64–79.
- Quand éleveurs et céréaliers réapprennent à échanger [WWW Document], n.d. URL <http://aveniragricole.net/011-21033-Quand-eleveurs-et-cerealiers-reapprennent-a-echanger.html> (accessed 9.22.19).
- Ramonteu, S., Moraine, M., Choisis, J.P., Magrini, M.B., 2015. Présentation du RMT Polyculture élevage, échelle territoire. *Innovations Agronomiques* 39, 163–180.
- Regan, J.T., Marton, S., Barrantes, O., Ruane, E., Hanegraaf, M., Berland, J., Korevaar, H., Pellerin, S., Nesme, T., 2017. Does the recoupling of dairy and crop production via cooperation between farms generate environmental benefits? A case-study approach in Europe. *European Journal of Agronomy*, Farming systems analysis and design for sustainable intensification: new methods and assessments 82, Part B, 342–356. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.08.005>
- Rieutort, L., 2009. Dynamiques rurales françaises et re-territorialisation de l'agriculture. *L'Information géographique* Vol. 73, 30–48.
- Rodriguez, J.P., Beard, D., Bennett, E., Cumming, G., Cork, S., Agard, J., Dobson, A., Peterson, G., 2006. Trade-off across Space, Time, and Ecosystem Services. *Ecology and Society* 11, 28.
- Roguet, C., Gaigné, C., Chatellier, V., Cariou, S., Carlier, M., Chenut, R., Daniel, K., Perrot, C., 2015. Regional specialization and concentration of European livestock. *INRA Productions Animales* 28, 5–22.
- Romera, A.J., Doole, G.J., Beukes, P.C., Mason, N., Mudge, P.L., 2017. The role and value of diverse sward mixtures in dairy farm systems of New Zealand: An exploratory assessment. *Agricultural Systems* 152, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.12.004>
- Rossing, W.A.H., Meynard, J.M., van Ittersum, M.K., 1997. Model-based explorations to support development of sustainable farming systems: case studies from France and the Netherlands. *European Journal of Agronomy* 7, 271–283. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(97\)00042-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(97)00042-7)
- Rotz, C.A., Corson, M., Chianese, D., Montes, F., Hafner, S., Coiner, C., 2012. The integrated farm system model (Reference Manual No. Version 3.6).
- Ruselle, M., Entz, M., Franzluebbers, J., 2007. Reconsidering Integrated Crop-Livestock Systems in North America. *Agronomy Journal* 325–334.

- Ryschawy, J., Choisis, N., Choisis, J.P., Gibon, A., 2013. Paths to last in mixed crop-livestock farming: lessons from an assessment of farm trajectories of change. *Animal* 7, 673–681. <https://doi.org/10.1017/S1751731112002091>
- Ryschawy, J., Choisis, N., Choisis, J.P., Joannon, A., Gibon, A., 2012. Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming? *animal* 6, 1722–1730. <https://doi.org/10.1017/S1751731112000675>
- Ryschawy, J., Joannon, A., Gibon, A., 2014. L'exploitation de polyculture-élevage : définition et question de recherche. *Une revue. Cah Agri* 23, 346–356.
- Ryschawy, J., Martin, G., Moraine, M., Duru, M., Therond, O., 2017. Designing crop–livestock integration at different levels: Toward new agroecological models? *Nutr Cycl Agroecosyst* 108, 5–20. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9815-9>
- Schiere, H., Kater, L., 2002. Mixed Crop-livestock Farming: A Review of Traditional Technologies Based on Literature and Field Experiences: 152. Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, Rome.
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00176-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00176-1)
- Schneider, A., Huyghe, C., (Eds.), 2015. Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables, 1st ed. Editions QUAE GIE, Versailles.
- Sere, C., Steinfeld, H., Groenewold, J., 1995. World livestock production systems: Current status, issues and trends. Presented at the Consultation on Global Agenda for Livestock Research, Nairobi (Kenya), 18-20 Jan 1995, ILRI.
- Sneessens, I., 2014. La complémentarité entre culture et élevage permet-elle d'améliorer la durabilité des systèmes de productions agricoles ? Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand II.
- Soussana, J.-F., Lemaire, G., 2014. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 9–17.
- Steinmetz, L., Mosnier, C., 2019. Adaptation des systèmes de polycultures-élevages aux variations de prix et de taille de l'exploitation : simulation à partir du modèle bioéconomique Orfee. *Innovations Agronomiques* 72, 77–89. <https://doi.org/10.15454/O65NF2>
- Sterk, B., van Ittersum, M.K., Leeuwis, C., Wijnands, F.G., 2007. Prototyping and farm system modelling—Partners on the road towards more sustainable farm systems? *European Journal of Agronomy* 26, 401–409. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.12.006>
- Sulc, R.M., Franzluebbers, A., 2014. Exploring integrated crop-livestock systems in different ecoregions of the United States. *European Journal of Agronomy* 57, 21–30.

- Sulc, R.M., Tracy, B.F., 2007. Integrated Crop–Livestock Systems in the U.S. Corn Belt. *Agronomy Journal* 99.
- Sumberg, J., 2003. Toward a dis-aggregated view of crop–livestock integration in Western Africa. *Land Use Policy* 20, 253–264. [https://doi.org/10.1016/S0264-8377\(03\)00021-8](https://doi.org/10.1016/S0264-8377(03)00021-8)
- van Keulen, H., Schiere, H., 2004. Crop-livestock systems: old wine in next bottles? “New directions for a diverse planet”. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia. Published on CDRom. Web site [www.cropscience.org.au](http://www.cropsscience.org.au).
- Verburg, P.H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., Mastura, S.S.A., 2002. Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S Model. *Environmental Management* 30, 391–405. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2630-x>
- Veyssset, P., Lherm, M., Bébin, D., Roulenc, M., 2014. Mixed crop-livestock farming systems: a sustainable way to produce beef? Commercial farms results, questions and perspectives. *Animal: an international journal of animal bioscience* 8, 1218–1228.
- Wilkins, R.J., 2008. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 363, 517–525. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2167>
- Williamson, O.E., 1985. *The Economic Institutions of Capitalism: Firms Markets and Relational contracting*. The Free Press, A Division of Macmillan, INC., New York.

Tables des figures et des tableaux

Chapitre 1 : Nécessité de reconnecter cultures et élevages pour le bouclage des cycles et d'améliorer la durabilité au niveau des territoires	5
Figure 1 : Carte représentant la densité de vaches laitières sur les territoires européens tiré de Roguet et al. 2015.....	6
Figure 2 : Recensement des publications annuelles entre 1986 et 2013 (a) et part en pourcentage de la contribution des pays (b) dans la publication de revues sur les systèmes de polyculture-élevage tiré de De Moraes et al. (2014).....	9
Figure 3 : Schéma de la typologie des différents types d'intégration culture élevage à l'échelle de plusieurs exploitations agricoles tiré de Moraine (2015).....	15
Figure 4 : Représentation des différentes formes de collectifs (Coopérative, polycentrique et multi-relationnel) tiré de Ryschawy et al., 2017.....	16
Figure 5: Schéma des imbrications permettant de décrire les pratiques d'intégration culture-élevage entre exploitations (Bell et Moore 2012).....	17
Chapitre 2 : Objectifs scientifiques et méthodologie générale	23
Figure 1: Schéma du cheminement de la thèse : des objectifs aux axes de thèse	25
Figure 2 : Schéma des interactions culture-élevage et de certains de leurs effets	28
Figure 3 : Schéma du fonctionnement du modèle ORFEE adapté de (Mosnier et al., 2017) ...	36
Figure 4: Carte des OTEX par commune de la région Bourgogne Franche-Comté	37
Figure 5 : Carte des OTEX par communes de l'ancienne région Rhône-Alpes	38
Chapitre 3 : Caractérisation du fonctionnement de systèmes de polyculture-élevage au niveau du territoire : approche par l'analyse de coûts de transactions.....	41
Figure 1: Schéma des interactions entre attributs des coûts de transaction sur les étapes de mise en place d'une coopération.....	486
Chapitre 4 : Modelling the value of straw/manure exchanges over the short and long term ..	63
Figure 1: Crop-farm net income plotted against manure price accounting for Arable farm Control (Cc), short-term (ST), long-term effect (LT) and long-term effect with +10% yield variation (LT+).....	73
Figure 2: Box plot representation of the variability of the price of manure as a function of the variation in humus mineralization (Mh), the amount of nitrogen per ton of manure (N), the price of straw and mineral fertilizers.....	74
Figure 3: Livestock farm net income plotted against manure price in different scenarios.....	75
Chapitre 5 : Intérêts de la mise en place d'une filière foin de luzerne contractualisée par une coopérative pour valoriser les complémentarités plaine-montagne	85
Figure 1 : Schéma de la chronologie des prises de décisions dans le modèle ORFEE.....	908
Figure 2 : Graphique représentatif de l'évolution des rendements des cultures entre 2010 et 2017 sur une base 100 avec 2010 en année de référence.....	92
Figure 3 : Evolution des rendements des productions végétales de l'exploitation d'élevage entre 2010 et 2017 sur base 100 avec 2010 en année de référence (Agreste).....	93

Figure 4 : Evolution des prix des cultures entre 2010 et 2017 en €/qx.....	93
Figure 5 : Evolution du prix du lait standard en France entre 2010 et 2017 (en euro constant /litre).....	94
Figure 6 : Evolution de la surface en luzerne en fonction du prix de vente du foin de luzerne.....	97
Figure 7 : Graphique représentative de l'évolution des résultats courants des scénarios grandes-cultures sans aversion au risque entre 2010 et 2017.....	97
Figure 8 : Graphique représentatif de l'évolution du ratio aliment produit / consommé en tonne de matière sèche pour l'exploitation d'élevage entre 2010 et 2017.....	100
Figure 9 : Graphique représentatif d 'évolution du résultat courant des scénarios de l'exploitation d'élevage en fonction du prix d'achat du foin de luzerne.....	100
Figure 10 : Histogramme de la composition de la ration vache laitière pour chacun des scénarios de l'exploitation d'élevage.....	102
Figure 11 : Graphique représentatif de l'évolution du résultat courant des trois scénarios de l'exploitation d'élevage.....	102
Chapitre 6 : Discussion générale.....	111

Chapitre 1 : Nécessité de reconnecter cultures et élevages pour le bouclage des cycles et d'améliorer la durabilité au niveau des territoires	5
Chapitre 2 : Objectifs scientifiques et méthodologie générale	23
Tableau 1: Synthèse des modèles bioéconomique représentant des systèmes agricole avec activité de culture et d'élevage.....	32
Chapitre 3 : Caractérisation du fonctionnement de systèmes de polyculture-élevage au niveau du territoire : approche par l'analyse de coûts de transactions.....	41
Tableau 1: Tableau récapitulatif des caractéristiques des démarches d'interactions culture/élevage territoriales étudiées	52
Tableau 2: Estimation de la pondération des attributs des coûts de transactions en fonction des démarches étudiées	57
Chapitre 4 : Modelling the value of straw/manure exchanges over the short and long term ..	63
Table 2: Data used for the simulation of straw/manure exchanges for farms in Burgundy.....	68
Table 2: Technical/economic results of fertilization practices in the different scenarios: ¹ average fertilization on the crop and grassland area ² manure price at the barn door.....	72
Chapitre 5 : Intérêts de la mise en place d'une filière foin de luzerne contractualisée par une coopérative pour valoriser les complémentarités plaine-montagne.....	85
Tableau 1 : Contrainte de la fréquence de retour des cultures dans la rotation	91
Tableau 2 : Valeur alimentaire du foin de luzerne (INRA, 2010).....	92
Tableau 3 : Liste des contraintes liées aux scénarios sur le cas type grandes cultures	97
Tableau 4: Liste des contraintes liées aux scénarios du cas type élevage	98
Tableau 5: Synthèse des résultats techniques et économiques des scénarios du cas type grandes cultures	100
Tableau 6 : Synthèse des résultats des scénarios avec les variantes de la fonction objectif avec aversion au risque.....	101
Tableau 7: Quantité de foin de luzerne acheté pour les scénarios avec et sans contrat en fonction du prix d'achat.....	103
Tableau 8 : Synthèse des résultats techniques et économiques du cas type élevage.....	103
Tableau 9 : synthèse des résultats des variantes de l'aversion au risque pour le cas type élevage.....	105
Chapitre 6 : Discussion générale.....	111
Tableau 1 : Bilan technique et économique de l'effet de l'échange sur les deux exploitations.....	114
Tableau 2 : Bilan de l'effet de la filière sur la consommation en intrant de synthèse et en alimentation animale.....	115

Annexes

Annexe n°1 : Compte rendu entretien collectif auprès des acteurs du développement pour prioriser les synergies à étudier : 16.06.2017

Réalisé au lycée agricole de Fontaines (Saône et Loire)

Membre de l'atelier :

Christine Bouilly
Antoine Villard
Joris Deville
Denis Chapuis
Laurent Solas (arrivé au cours de la seconde partie)
Nelly Genoux
Hédi Ben Chedly

Première partie :

L'entretien a débuté par une présentation des résultats obtenus à partir de l'étude de la représentation des systèmes de polyculture-élevage du point de vue des acteurs du développement. Une seconde partie de présentation a porté sur les objectifs du travail de thèse et des attentes par rapport à l'entretien du jour ainsi que les consignes pour la matinée.

Un temps était prévu pour les questions éventuelles. Le premier point abordé par les membres de l'atelier a été la prédominance de la dimension sociale dans la détermination de la réussite des coopérations. Tous les participants étaient d'accord sur le fait que cette dimension est indispensable à prendre en compte mais qu'elle est difficilement modélisable.

L'influence de la proximité spatiale entre exploitations qui collaborent, sur la relation de confiance pour une coopération a été abordée. D'après plusieurs participants, les échanges sur des plus longues distances (exemple échanges de paille/fumier / camions) sont plus de l'ordre de relations commerciales très normées et dans ce cas la relation de confiance entre les membres de l'échange apparaît comme moins essentielle.

Les participants ont défini les relations commerciales même de grès à grès comme différentes des échanges entre exploitations. Selon eux, le point d'entrée n'est pas le même.

Seconde partie :

Dans une seconde partie de la matinée, il a été proposé aux participants de prendre un temps de réflexion et de noter sur les post-it de couleurs, les arguments en faveur et en défaveur du développement par modélisation des synergies entre culture et élevage. 5 post-it orange pour les éléments qui montrent l'intérêt d'étudier et d'approfondir les différentes synergies, 5 post-it

bleu pour les arguments qui illustrent la moindre pertinence ou la difficulté à généraliser ces synergies. Les participants avaient également 2 ou plus post-it rose, utiliser comme joker, lorsqu'ils n'avaient pas d'avis sur une des synergies proposées ou des questions d'éclaircissement. Les synergies abordées étaient celle qui avaient été abordées lors du premier entretien et représenter dans les résultats de la partie 1. Les participants n'avaient pas l'obligation de mettre un post-it sur chaque synergie mais il était souhaité qu'ils réfléchissent au moins rapidement à chaque proposition. Un point d'éclaircissement sur la définition des différentes synergies affichées a été proposé.

Plusieurs synergies ont été rediscutées par rapport à la catégorie dans lesquelles elles étaient rangées. Les analogies existantes entre certaines synergies ont été mise en avant (mise en pension d'animaux // échange de fourrage). La mutualisation du matériel a été définie comme extérieure au sujet, et donc non prioritaire dans notre étude des synergies entre polyculture et élevage. Tous les participants n'étaient pas en accord pour ce point. Pour certains la mutualisation de matériel peut avoir un intérêt (surtout pour du matériel très technique) dans les synergies entre exploitation d'élevage et de culture même si cela reste marginale (exemple donné pour le matériel de semis direct).

Le tableau suivant fait une synthèse des arguments recenser pour chaque synergie proposée :

Argument en faveur de son étude	Argument en défaveur	Bilan
Achat/vente de fourrage Au départ, une distinction était faite entre fourrage de légumineuses et autres cultures fourragères, mais les participants ont fait le choix de répondre de façon groupée. Dans le cas de cette synergie, les achats/ventes sont plus souvent pour du fourrage de légumineuses. Pour les participants ces élément paraissent incontournables dans la modélisation <u>Exemple de cas proposés :</u> Maïs ensilage, pâturage de dérobée, foin de luzerne		
Intérêts agronomiques : désherbages, engrais Est sous le coup d'une incitation politique Fait partie des questions que se posent les céréaliers face à des problèmes agronomiques + débouchés Véritable demande par rapport à l'estimation des prix d'achat/vente	Il faut d'abord chercher l'autonomie de l'exploitation avant de vouloir optimiser le territoire Changement potentiellement important dans le fonctionnement des systèmes séparés (pâturage de dérobées) Manque de connaissance et de savoir-faire pour certaines cultures (luzerne) Forte variabilité d'une année à l'autre, demande une grande adaptabilité difficile d'avoir un cadre fixe, opportunité (maïs ensilage, dérobée) Manque de matériel Mise en œuvre complexe selon les types de systèmes qui collaborent Risques agronomiques liés à un manque de savoir-faire ou d'intérêt des éleveurs	Cohérence agronomique +++ Potentiel d'application +++ Coût de fonctionnement +

Achat/vente de céréales L'achat/vente de céréales est réglementairement contraint, les participants ont jugé que la présence d'un organisme intermédiaire (l'organisme stockeur) bloquait dans la définition de la synergie entre exploitations.		
Mutualisation de matériel Comme décrit précédemment, les participants ont considéré que cette synergie n'était pas prioritaire dans les cadres des synergies entre culture et élevage		
Situation répandue mais pas forcément efficaces A associer à la mutualisation de main d'œuvre Diminution des charges de mécanisation		Potentiel d'application ++ Facilité de mise en œuvre
Mutualisation du foncier Le premier exemple développé a été l'assolement en commun, qui a été défini comme une forme avancée des échanges de fourrages		
	Importance de l'aspect humain Frais administratifs	Facilité de mise en œuvre -- Impact sur les systèmes ++ Potentiel d'application +++ Cohérence agronomique +++
Mutualisation de la main d'œuvre Les participants ont jugé que cette mutualisation n'était pas spécifique aux synergies cultures et élevages		
Mise en pension d'animaux		
	Pas possible dans des systèmes en céréalier pur Coût ? Arrangement pour la surveillance des animaux	Cohérence agronomique ++ Impact sur les systèmes ++ Coût de fonctionnement ++ Facilité de mise en œuvre -

Les grandes questions et attentes :

Les principales questions et attentes ressorties lors de cet entretien sont d'arriver à donner une valeur et chiffrer les intérêts des deux parties dans ces coopérations. Il paraît essentiel de pousser la réflexion sur les équilibres acceptables agronomiquement, économiquement et socialement pour chaque partie. « Jusqu'où l'éleveur peut échanger sa matière organique en échange de paille ou de fourrage ? ». Les participants ont exprimé la difficulté d'exprimer les attentes et les apports possible des exploitations d'élevage pour les cultures dans ces échanges entre culture et élevage, les apports des cultures étant plus simples à chiffrer. Selon les participants, la problématique principale se situe autour des échanges et transactions de matière organique.

Annexe n°2 : Compte rendu entretien collectif auprès des acteurs du développement pour prioriser les synergies à étudier : 25.09.2017

Réalisé à la chambre d'agriculture de la TOUR du PIN (38)

Membre de l'atelier :

Jean-Philippe GORON

Jean-Pierre MANTEAU

Marianne PHILLIT

Tanguy MOREL

Première partie :

L'entretien a débuté par une présentation des résultats obtenus à partir de l'étude de la représentation des systèmes de polyculture-élevage du point de vue des acteurs du développement. Une seconde partie de présentation a porté sur les objectifs du travail de thèse et des attentes par rapport à l'entretien du jour ainsi que les consignes pour la matinée.

Lors de la présentation des résultats un des membres de l'atelier a fait remarquer que les systèmes de polyculture-élevage sont aussi représentés en élevage de granivores avec une utilisation des effluents pour la fertilisation des cultures. Cependant, selon les membres de l'atelier ces systèmes sont relativement moins avancés dans la recherche d'autonomie à l'échelle de l'exploitation que les élevages de ruminants. Ceci est dû en partie à la technicité de formulation de l'aliment.

D'autre part, les membres de l'atelier ont réaffirmé que la charge de travail et la réglementation de l'achat/vente de céréales sont des freins importants dans la mise en place de ces démarches de coopération.

Le constat des membres de l'atelier par rapport aux différentes synergies proposées, est que ces démarches nécessitent un travail de fond sur la dimension humaine, pour lequel il faut arriver à mettre en avant les avantages sur le long terme plutôt que de rester sur des stratégies opportunistes de court terme. Par retour d'expérience, il apparaît que les agriculteurs convertis à l'agriculture biologique ont tendance à se tourner davantage vers des stratégies de long terme du fait des contraintes que leur impose leur certification.

Le tableau suivant fait une synthèse des arguments recenser pour chaque synergie abordée :

Argument en faveur de son étude	Argument en défaveur	Bilan
Achat/vente de fourrage		
Foin de luzerne et maïs épis		

Selon différentes modalités : achat de luzerne sur pied, avec récolte sous-traitée par une entreprise de travaux agricole + transporteurs, transaction locale par l'intermédiaire d'une coopérative		
-Intérêt par rapport à une problématique de travail, permet d'avoir plus d'UTH par unité de surface pour les élevages en achetant des fourrages -Investissements financiers de départ limités -Investissement en temps de travail limité (céréalier) -Intérêt agronomique -Lien social entre les agriculteurs -La demande en fourrage est présente	-Beaucoup de déplacements qui questionnent la performance environnementale -Pas toujours possible dans les échanges où la distance entre exploitation est trop grande (dans les zones où céréaliers et éleveurs sont éloignés → l'intermédiaire d'une coopérative est la meilleure solution)	→ intérêt d'une analyse multicritères des performances - Facilité de mise en œuvre ++ - Impact sur les systèmes + - Potentiel d'application +++ - Cohérence agronomique +++
Les membres de l'atelier ont montré un intérêt pour les systèmes d'élevage caprins considérés comme les plus innovants → ils peuvent être une source d'inspiration, idem pour les agriculteurs en agriculture biologique		
Mise en pension d'animaux ou élevage des génisses		
Systèmes marqués	Problème technique, moyen au niveau de la durabilité, achat de génisses pas intéressant en agriculture biologique	Facilité de mise en œuvre + Impact sur les systèmes ++ Potentiel d'application- Cohérence agronomique -
Mutualisation de matériel		
Investissement en commun dans une unité de séchage de fourrage		
Permet la création d'une dynamique collective et favorise la multiplication des synergies entre les coopérants « création d'une émulation » Permet de sécuriser la marchandise Peut être une solution dans une recherche d'aménagement du travail	Difficulté de trouver de la cohésion dans un groupe (limité par l'individualisme) Coût de mise en place élevé Manque d'engagement/partage de la prise de risque pour un tel investissement	Facilité de mise en œuvre - - Impact sur les systèmes +++ Potentiel d'application + Cohérence agronomique ++
Echange matière organique/paille		
Intérêt d'étudier des exemples atypiques avec un raisonnement tourner sur le gain de temps de travail (éleveur) → questionnement sur l'aspect agronomique de ce système	Il existe déjà suffisamment de références	Facilité de mise en œuvre ++ Impact sur les systèmes + Potentiel d'application ++ Cohérence agronomique ++
Achat/vente de céréales		
Echange limité par la réglementation		
	Investissement dans les infrastructures de stockage	Facilité de mise en œuvre - Impact sur les systèmes ++

	Besoins de connaissance dans les techniques de stockage surtout en agriculture biologique	Potentiel d'application + Cohérence agronomique +
--	---	---

Les grandes questions et attentes :

Selon les membres de l'atelier, il existait jusqu'à présent une concurrence de l'acheteur pour les graines mais pas pour les fourrages. Selon eux, les fourrages deviennent également une marchandise concurrencée.

C'est pourquoi l'achat/vente de fourrage semble une piste intéressante à développer, afin d'identifier les différentes perspectives qui s'offrent aux agriculteurs. Cette démarche de synergie C/E peut être étudiée selon différents fonctionnements. Les membres de l'atelier ont proposé : l'échange de fourrage avec investissement d'une unité de séchage collective, l'achat/vente de luzerne récoltée par le céréalier ou l'éleveur, l'achat/vente entre céréalier et éleveur mais avec intervention d'une entreprise de travaux agricoles pour la récolte et le transport du fourrage.

Les deux fourrages d'intérêt par rapport à leur potentiel d'application sur les exploitations de la zone d'étude sont le foin de luzerne et le maïs épis.

Les systèmes biologiques, étant confrontés à un plus grand nombre de contraintes, ont été désignés par les membres de l'atelier comme plus novateurs. Il apparaîtrait pertinent de prendre un exemple dans des démarches entre agriculteurs certifiés en agriculture biologique.

Annexe n°3 : Cas type n°11041 BV Charolais (Réseau d'élevage 2015)

RÉSEAUX D'ÉLEVAGE POUR LE CONSEIL ET LA PROSPECTIVE
COLLECTION RÉFÉRENCES

RÉSEAUX D'ÉLEVAGE

Résultats annuels - Campagne 2015





Cas-type

Cas Type N° 11041 BV Charolais

Dossier établi par

Equipe : BV Charolais



En zone herbagère, produire des broutards lourds et des femelles finies





Caractéristiques de l'exploitation

1,0 unités de main-d'oeuvre

105 ha de Surface agricole utile
dont 94 ha de surface fourragère principale - dont 94 ha d'herbe
dont 11 ha de grandes cultures

112 UGB - Chargement apparent 1,2 UGB / ha SFP
dont 111,8 bovins viande



Réseau Charolais

Avec le soutien financier de



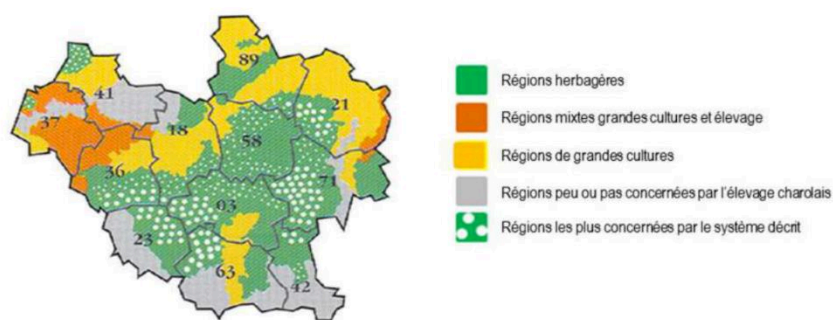


FICHE ACTUALISATION 2015 CAS-TYPE N° 11041 BV CHAROLAIS

EN ZONE HERBAGERE, PRODUIRE DES BROUTARDS LOURDS ET DES FEMELLES FINIES

Ce système concerne des exploitations, à l'origine de petite dimension, qui se sont agrandies progressivement. L'augmentation de dimension s'est réalisée sans modification des conduites techniques et du chargement. Pour commercialiser des broutards lourds vendus pour la plupart avant la période hivernale et limiter les investissements en bâtiments (seul 1/3 des mâles sont logés), les éleveurs ont avancé les vêlages. Le couple assure la quasi-totalité des travaux de l'exploitation, de 1 à 1,5 UMO.

LOCALISATION



Ce type d'exploitation se rencontre dans des zones de plaines herbagères de l'Allier, de la Loire, de la Saône et Loire, du Puy-de-Dôme et de l'Indre.

EQUIPEMENTS

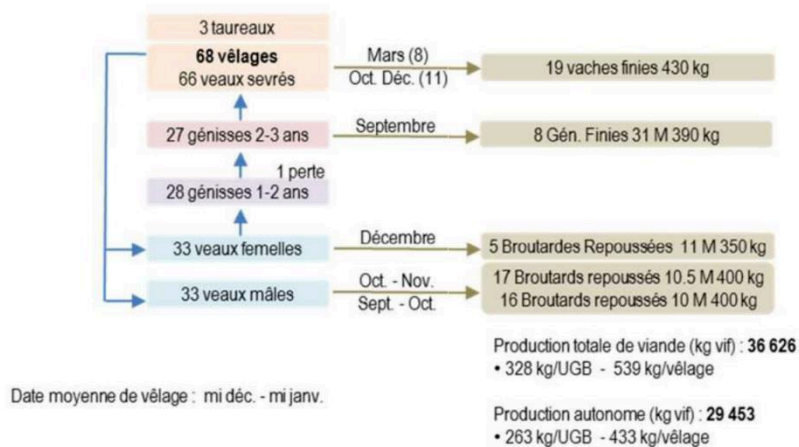
Bâtiments Stabulation libre pour 80 % des animaux

Stockage Hangar à fourrages, hangar matériel, cellules à grain

Matériel 2 tracteurs de 60 à 100 chevaux
CUMA, copropriété ou entreprise pour les récoltes autres que le foin
Chaîne de récolte de foin avec round baller (1,2 x 1,2)
Charrue réversible 4 socs, semoir combiné (3 m)
Epandeur engrais - pulvérisateur (12 à 18 m)

N° 11041 BV CHAROLAIS

FONCTIONNEMENT DU TROUPEAU



Une conduite semi-intensive des surfaces en herbe avec pratique de l'ensilage d'herbe.

Des prairies permanentes et temporaires de qualité sont indispensables à la réussite de ce système. Pâturage tournant, apport d'azote après chaque passage, sont à la base de la gestion de l'herbe. Un quart des surfaces en herbe récoltées sont ensilées, les repousses précoces sont destinées en priorité au pâturage.

10 ha de céréales pour la complémentation et la finition des bovins

Les céréales, en majorité d'automne, sont destinées à la complémentation des animaux. Les rendements moyens sont de l'ordre de 55 à 60 quintaux. Dans ces exploitations non autonomes en paille, le rendement en paille est l'un des éléments du choix des espèces et variétés de céréales à cultiver.

Alimentation hivernale (principales catégories)

Kg par tête pour la période	Durée jours	Foin ens. herbe (kg MS)	Ens. maïs (kg/MS)	Concentré kg brut
Vaches allaitantes	140	1500	—	140
Génisses 10-15 mois	170	820	—	410
Génisses 22-26 mois	120	700	—	230
Broutards repoussés	60	270	—	320
Broutards repoussés	130	650	—	290
Génisses finies	120	0	—	560
Vaches finition "auge"	100	550	—	1030

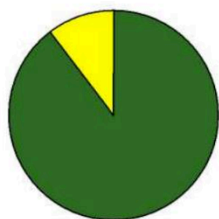
L'hivernage en stabulation libre permet à la fois l'utilisation de l'IA et des vêlages précoces. Les premières mises bas ont lieu à partir de début décembre et la quasi-totalité des vêlages sont finis en mars.

L'alimentation hivernale nécessite des stocks fourragers de qualité et en quantité suffisante.

Avec des vêlages tôt en saison, l'alimentation du troupeau des mères est plus exigeante en quantité et qualité : foin et ensilage d'herbe sont à la base des rations. Elles seront complémentées après vêlage afin d'assurer une bonne production laitière. Pour obtenir des poids élevés à la vente, les veaux sont complémentés lors de la période hivernale dès l'âge de 3 semaines. Seuls les veaux mâles reçoivent une complémentation au pâturage. Les génisses vendues à 30-33 mois sont finies à l'herbe avec un apport de concentrés adapté à la quantité d'herbe disponible.

ASSOLEMENT DU SYSTEME

Surface Agricole Utile 105 ha Surface Fourragère Principale 90 % Surface Non Fourragère 10 %

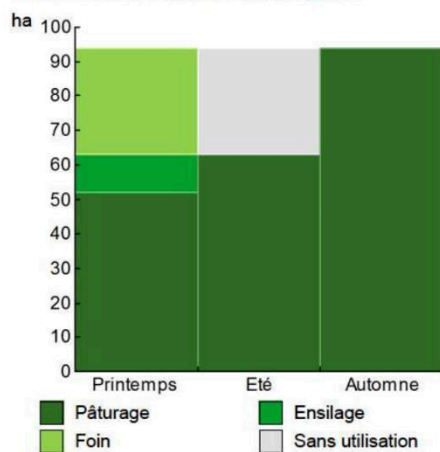


	Surface (ha)	%
Surface en herbe	94,0	90
Grandes cultures	11,0	10

LE SYSTEME FOURRAGER

Chargement corrigé	1,19 UGB / ha SFP	Cultures Fourragères (CF)/ SFP	0 %
Part des prairies permanentes / SH	76 %	Prairie temporaire implantée dans l'année	0,0 ha
Fumure minérale (/ha herbe)	24 N 9 P2O5 0 K2O	Fumure minérale (/ha CF)	0 N 0 P2O5 0 K2O

Utilisation des surfaces fourragères

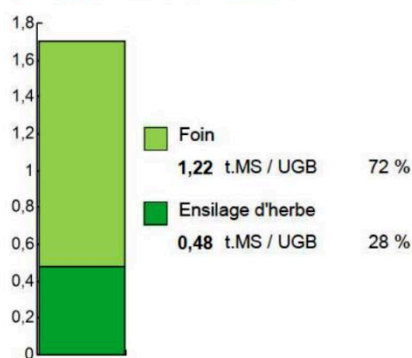


Couvert / mode d'utilisation	Surface (ha)	N	P2O5	K2O	Fum Orga
Surface en herbe					
Pâturage	52,0	15	0	0	
Déprimage + Foin + Pâturage	31,0	30	15	0	F
Ensilage + pâturage	11,0	50	32	0	F

Légende : F=Fumier

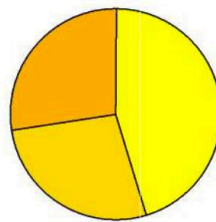
Fourrages conservés utilisés	1,70 t. MS / UGB
dont variation de stock	0,00 t.MS / UGB
Autonomie des fourrages conservés	100 %

Fourrages conservés utilisés



Récoltes	Surface (ha)	Rdt MS/ha	tMS /UGB	Ares /UGB
Foin	31,0	4,4	1,22	28
1° coupe après déprimage	31,0	4,4		
Ensilage d'herbe	11,0	4,9	0,48	10
1° coupe non déprimée	11,0	4,9		

PRODUCTIONS VEGETALES



ha	
5,0	Blé tendre
3,0	Orge hiver
3,0	Triticale

Grandes cultures	11,0 ha	Nb de cultures avec + de 5% de la SAU	2
Fumure minérale (/ha SNF)			
	108 N	0 P2O5	0 K2O
Marge brute des productions végétales	5 136 €	467 €/ha	

Conduite des productions végétales

Cultures	Signe qualité	Surface (ha)	Rdt /ha	Fumure minérale/ha			Fum Orga	IFT herbi. - aut.	Dés. méca	Prix € / unité	M.B. €/ha
				N	P2O5	K2O					
Grandes cultures											
Blé tendre		5,0	58 q	115	0	0	F	0	0	0	476
Orge hiver		3,0	55 q	110	0	0	F	0	0	0	442
Triticale		3,0	58 q	95	0	0	F	0	0	0	478
Légende fumure organique : F=Fumier											

Marges brutes

	Blé tendre	Orge hiver	Triticale		Blé tendre	Orge hiver	Triticale
Produits	€/ha	€/ha	€/ha	%			
Aides couplées	0	0	0	100	100	100	100
Ventes & indemnité	775	700	736	40	40	40	40
Charges							
Autres charges	0	0	0				
Travaux par tiers	0	0	0				
Produits phyto	142	105	110				
Engrais & am.	109	104	91				
Semences	49	49	58				
Marge brute	476	442	478				

LE TROUPEAU BOVINS VIANDE

65,1 vaches allaitantes (VA)

Charolaise

66 droits PMTVA

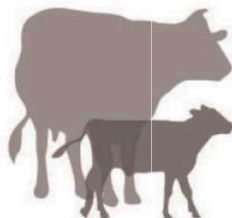
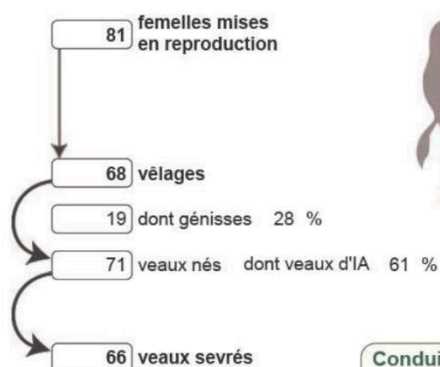
Atelier bovins viande

111,8 UGB

100 % du total UGB

1,6 UGB/vêlage

94,0 ha SFP BV



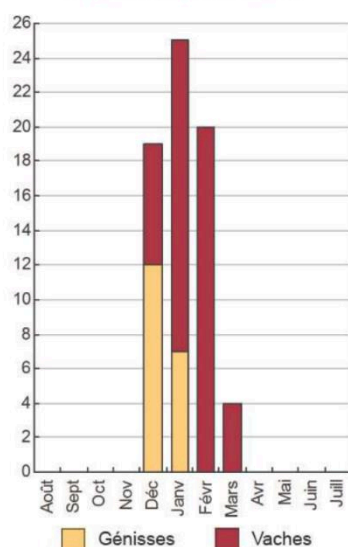
Performances de reproduction

Taux de gestation	84 %
Nombre d'avortements	0
Intervalle vêlage-vêlage	367 j
dont > 400 jours	0 %
Date moyenne de vêlage	20/01/2015
Age moyen au premier vêlage	34 mois
Taux de prolificité	104 %
Taux de mortalité	7,0 %
Taux de productivité numérique	81 %

Conduite des veaux jusqu'au sevrage

Complémentation mâles et femelles

Répartition des vêlages



Ventes et achats d'animaux

Catégorie	Race	Signe qualité	Poids /tête	Prix € unitaire	Prix € /tête
Ventes					
11 Vaches réforme finies	38		430,0 kgc	3,80	1 636
17 Broutards repoussés	38		400,0 kgv	2,52	1 007
16 Broutards lourds	38		400,0 kgv	2,51	1 004
8 Génisses finies > 30 mois	38		390,0 kgc	4,13	1 609
8 Vaches réforme	38		430,0 kgc	3,71	1 595
5 Broutards repoussés	38		350,0 kgv	2,35	821
1 Taureaux de réforme gras	38		620,0 kgc	2,74	1 700
Achats					
1 Reproducteurs mâles	38		500,0 kgv	4,40	2 200

Production de viande

Production brute de viande vive (PBVV)

dont vendue	36 626 kgv	328 kgv/UGB
Concentrés : Quantité totale	37 126 kgv	2,23 €/kgv vendu
dont prélevé	83 t	739 kg/UGB
Prix unitaire concentrés	63 %	
	194 €/t	
Coût des aliments (concentrés et fourrages achetés)	15 995 €	0,44 €/kgv
Production autonome	29 453 kgv	263 kgv/UGB
	80 %/PBVV	

Marge brute atelier

53 359 €
820 €/VA
477 €/UGB
568 €/ha SFP BV

LES RESULTATS ECONOMIQUES 2015

Période du 01/01/2015 au 31/12/2015

Régime fiscal : Réel simplifié obligatoire

PRODUIT BRUT TOTAL (PB)		126 246 €	CHARGES		82 813 €
Bovins viande	(72 % PB)	91 410	Charges opérationnelles	(33 % PB)	41 097
Ventes		82 619	Troupeau	297 €/UGB	33 211
11 Vaches réforme finies race 38 (430 kgc à 3,80 €)		17 996	(112 UGB bovins viande)		
17 Broutards repoussés race 38 (400 kgv - 1 007 €)		17 122	Concentrés	143 €/UGB	15 995
16 Broutards lourds race 38 (400 kgv - 1 004 €)		16 064	Frais vétérinaires	60 €/UGB	6 750
8 Génisses finies > 30 mois race 38 (390 kgc à 4,13 €)		12 872	Frais d'élevage	40 €/UGB	4 448
8 Vaches réforme race 38 (430 kgc à 3,71 €)		12 760	Achats de litières	32 €/UGB	3 590
5 Broutards repoussés race 38 (350 kgv - 821 €)		4 105	Transformation, commercialisation	18 €/UGB	2 011
1 Taureaux de réforme gras race 38 (620 kgc à 2,74 €)		1 700	Taxes animales	3 €/UGB	309
Achats d'animaux		-2 200	CVO	1 €/UGB	108
1 Reproducteurs mâles race 38 (500 kgv - 2 200 €)		-2 200	Surfaces fourragères	51 €/ha	4 840
Aides		10 991	(94 ha SFP : dont 94 ha SH)		
Primes vaches allaitantes : 66 têtes à 161,08 €		10 631	Engrais et amendements	36 €/ha	3 385
Aides pour atelier BV		360	Semences et plants	7 €/ha	621
Grandes cultures	(6 % PB)	8 183	Fournitures pour fourrages	6 €/ha	519
Ventes		8 183	Autre	2 €/ha	195
Blé tendre : 101 q à 14,50 €		1 466	Phoduits de défense végétaux	1 €/ha	120
Cession interne au troupeau : 517 q à 12,70 €		6 566	Productions végétales	277 €/ha	3 046
Cession interne de semences		151	(11 ha GCU)		
Produits non affectables	(21 % PB)	26 653	Phoduits de défense végétaux	123 €/ha	1 352
Aides		26 653	Engrais et amendements	103 €/ha	1 129
Aides découpées : 105 ha à 185,00 €		19 425	Semences et plants	51 €/ha	566
Ind. Zones défavorisées		7 200			
Franchise de modulation		28			
			Charges de structure	(33 % PB)	41 716
			(hors amortissements et frais financiers)		
			Main-d'oeuvre (MSA + salaires)	54 €/ha SAU	5 620
			Foncier	127 €/ha SAU	13 370
			Matériel	127 €/ha SAU	13 360
			Bâtiments et installations	5 €/ha SAU	550
			Autres charges	84 €/ha SAU	8 816
			EXCEDENT BRUT D'EXPLOITATION	(34 % PB)	43 433 €
				43 433 €/UMO (1 UMO exploitant)	
Annuités	(39 % EBE)	17 000 €	Amortissement		22 300 €
Remboursement de capital		14 120	Matériel	136 €/ha	14 300
Frais financiers long et moyen terme (LMT)		2 880	Bâtiments et installations	72 €/UGB	8 000
Frais financiers court terme (CT)		0 €	Frais financiers (LMT et CT)		2 880 €
DISPONIBLE POUR EXPLOITANT ET L'AUTOFINANCEMENT		26 433 €	RESULTAT COURANT	(14 % PB)	18 253 €
		26 433 €/UMO		18 253 €/UMO	
Total actif hors foncier		433 416 €	Valeur ajoutée nette (hors aides)		2 359 €/UMO
		433 416 €/UMO	EBE hors foncier / actif hors foncier		13 %
Animaux 43 %	Bâtiments et installations 28 %		Taux d'endettement hors foncier		30 %
Matériel 23 %	Autres immobilisations 0 %				

Coût de production de l'atelier Bovins viande

Résultats avec conventions nationales - Exercice du 01/01/2015 au 31/12/2015



Productivité

Production brute de viande vive (kgvv)	36 626
Main-d'oeuvre à rémunérer (UMO)	0,99
Productivité MO rémunérée (kgvv/UMO)	36 996

€/ 100 kg de viande vive

Coût de production total 339

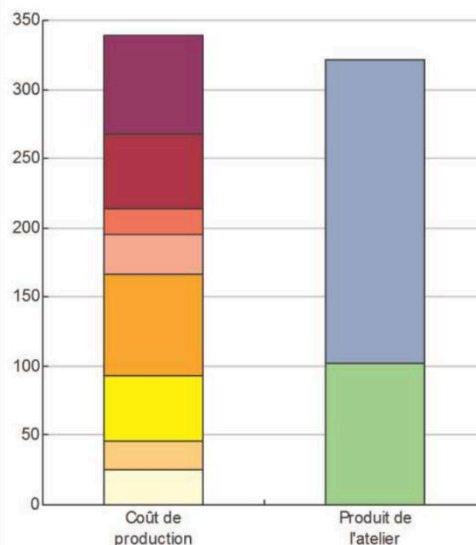
Travail	72
Foncier et capital	54
Frais divers de gestion	18
Bâtiments et installations	29
Mécanisation	74
Frais d'élevage	47
Approvisionnements des surfaces	20
Alimentation des animaux	26

€/ 100 kg de viande vive

Produit total 321

Produit viande	220
Autres produits	0
Aides	102

€/ 100 kg de viande vive



Approche comptable

Coût de production €/100 kgvv	339
Prix de revient €/100 kgvv	237
Rémunération permise €/100 kgvv	54
Rémunération permise nb SMIC/UMO	1,13

Prise en compte des amortissements et rémunération de tous les facteurs de production (travail, capitaux propres et terres en propriété).

Approche trésorerie

Coût de fonctionnement €/100 kgvv	307
Prix de fonctionnement €/100 kgvv	205
Trésorerie permise €/100 kgvv	86
Trésorerie permise nb SMIC/UMO	1,81

On remplace les amortissements par le capital d'emprunts remboursés et on ne rémunère pas les capitaux propres et les terres en propriété.

Animaux vendus	Poids à la vente	Prix de vente	Prix de revient	Prix de fonctionnement
19 Vaches de réforme	430 kgc/tête	3,77 €/kgc	4,06 €/kgc	3,52 €/kgc
17 Broutards repoussés	400 kgv/tête	1 007 €/tête	1 085 €/tête	942 €/tête
16 Broutards	400 kgv/tête	1 004 €/tête	1 082 €/tête	939 €/tête
8 Génisses finies	390 kgc/tête	4,13 €/kgc	4,44 €/kgc	3,86 €/kgc
5 Broutardes repoussées	350 kgv/tête	821 €/tête	884 €/tête	768 €/tête
Prix moyen du kilo vif vendu		2,23 €/kg vif vendu	2,40 €/kg vif vendu	2,09 €/kg vif vendu

Annexe n°4 : Cas Types Bovin lait sans valorisation spécifique du lait (Réseau d'élevage 2017)

EXPLOITATIONS SPECIALISEES LAIT A DOMINANTE HERBAGERE EN ZONE DE MONTAGNE, SANS VALORISATION SPECIFIQUE DU LAIT

Résultats 2017 des exploitations du Réseau Bovins Lait en Rhône-Alpes PACA

FICHE 1

Les cinq élevages de ce groupe ont un système fourrager basé sur l'herbe (pâture et ensilage majoritaire pour les stocks). Le maïs ensilage représente moins de 20% de la Surface Fourragère Principale. Malgré cette part modeste, il permet une production élevée par vache sans entraîner une consommation excessive de concentrés. Le chargement est compris entre 0,8 et 1,5 UGB/ha SFP. Les céréales, essentielles aux rotations, et autoconsommées par le troupeau laitier améliorent l'autonomie en concentrés et paille.

CARACTÉRISTIQUES STRUCTURELLES DES EXPLOITATIONS SUIVIES

Critères	Moyenne	Ecart
UMO totales	2.4	2.0 - 3.1
Lait produit (milliers de litres)	613	370 - 785
Lait produit/UMO (milliers de litres)	252	185 - 303
Lait par ha de SFP	6 135	4 856 - 7 995
Nombre de vaches laitières	85	58 - 116
Nombre d'UGB lait	127	94 - 187
SAU (ha)	112	81 - 136
Cultures (ha)	12	5 - 17
Surface fourragère Principale (ha)	100	76 - 129
SAU/UMO (ha)	47	34 - 65

Mon exploitation
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

CONDUITE DES SURFACES FOURRAGÈRES

Critères	Moyenne	Ecart
Chargement corrigé	1.1	0.9 - 1.3
Surface en maïs vert ou épis (ha)	15	8 - 21
Pourcentage de maïs dans la SFP	15	8 - 17
Fourrages stockés utilisés (tMS/UGB/an)	3.6	2.7 - 4.1
N/ha SFP (fumure minérale)	46	36 - 59
P ₂ O ₅ /ha SFP (fumure minérale)	3	0 - 6
K ₂ O/ha SFP (fumure minérale)	7	0 - 19
Charges opérationnelles SFP (€/ha SFP)	145	118 - 174

Mon exploitation
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

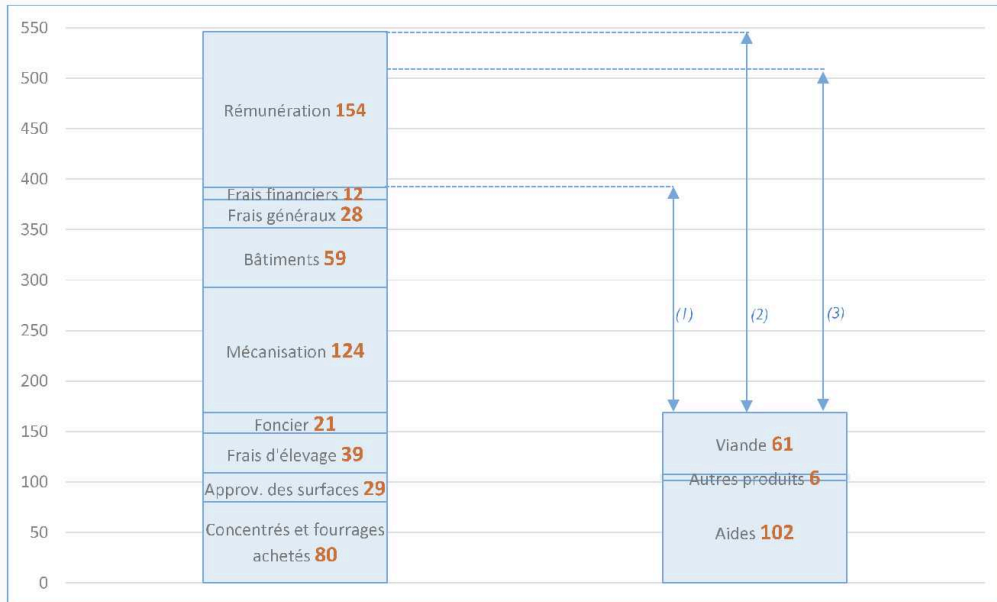
CONDUITE DES TROUPEAUX

Critères	Moyenne	Ecart
Lait produit (l/VL)	7 247	6 435 - 8 358
TB moyen laiterie (g/l)	41.9	40.2 - 44.7
TP moyen laiterie (g/l)	34.0	33.2 - 34.8
Prix du lait vendu laiterie (€/1 000 l)	344	328 - 351
Taux de renouvellement (%)	33	27 - 36
Veaux naissants (€/tête)	209	101 - 343
Vaches de réforme (€/tête)	865	583 - 1 017
Quantité de concentré VL (kg/VL)	1 778	1 302 - 2 036
Quantité de concentré VL (g/l)	245	202 - 289
Coût de concentré (€/1 000 l)	83	71 - 102
dont coût du concentré VL (€/1 000 l)	73	60 - 88
dont coût du concentré génisse (€/1 000 l)	10	3 - 16

Mon exploitation
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

COÛTS DE PRODUCTION DE L'ATELIER LAIT

€/1 000 litres	Prix du lait
Conjoncture 2017/2018	343 (3)
Prix de revient pour 2 SMIC	378 (2)
Prix de revient pour 0 SMIC	228 (1)



RÉSULTATS GLOBAUX DES EXPLOITATIONS SUIVIES

Critères	Moyenne	Ecart
Produit Brut Global (=PB) (€)	311 583	194 441 - 404 400
dont vente de lait (% du PB)	65	61 - 72
dont vente de viande (% du PB)	12	5 - 17
dont grandes cultures (% du PB)	2	1 - 3
dont aides (% du PB)	20	17 - 23
Charges opérationnelles (en % du PB)	31	24 - 36
Charges de structure (en % du PB)	28	25 - 32
EBE/PB (%)	41	37 - 50
EBE avant main-d'œuvre/PB (%)	47	42 - 56
EBE/UMO exploitant (€)	55 004	36 393 - 80 057
Amortissement		
- des bâtiments et installations/PB (%)	8	5 - 12
- du matériel/PB (%)	13	9 - 19
Annuités LMT / PB (%)	13	6 - 18
Annuités LMT / EBE (%)	34	12 - 47
Disponible / UMO exploitant (€)	38 108	22 694 - 70 662

Mon exploitation

Résumé

A partir de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, la spécialisation continue des exploitations agricoles et des bassins de production a conduit à de nombreux déséquilibres biogéochimiques et économiques tels que l'ouverture des cycles des nutriments, la dépendance en matières premières riches en protéines pour l'alimentation animale. Dans ce contexte, la mise en place de coopérations pour favoriser les interactions culture-élevage à l'échelle de plusieurs exploitations agricoles apparaît être une alternative optimisant l'utilisation et la préservation des ressources sur un territoire. Notre étude a été menée dans le cadre du projet POEETE (réfléchir la Polyculture-Elevage à l'échelle des Exploitations et du Territoires) PSDR 4 dans les régions Bourgogne-Franche-Comté et ancienne région Rhône-Alpes. Notre objectif est de faire une estimation économique de la mise en place d'interactions culture-élevage à l'échelle de plusieurs exploitations agricoles dans le cadre de l'agroécologie. Une première étude sur l'analyse des coûts de transactions de quatre démarches de coopération entre exploitations sur des interactions culture-élevage met en évidence l'importance des relations interpersonnelles et les caractéristiques de la marchandise ou de l'outil de production échangé, dans la répartition des coûts. Le deuxième axe porte sur l'estimation de l'intérêt économique d'une démarche d'interactions culture-élevage entre une exploitation de grandes-cultures et un élevage type sur un échange paille-fumier. Ce type de coopération a pour but d'améliorer la fertilité des sols du céréalier et de diminuer son recours aux engrais de synthèse. Le troisième et dernier axe de ce travail porte sur une filière courte de foin de luzerne visant à améliorer la fertilité des sols, réduire les intrants et les risques des céréaliers et favoriser un approvisionnement protéique locale pour les éleveurs. Nous avons pu établir une fourchette de prix entre 10 et 18 €/t pour l'achat/vente du fumier et une fourchette de 167-189 €/t pour le foin de luzerne. Dans les deux cas les agriculteurs (éleveurs et céréaliers) peuvent trouver un intérêt économique dans l'échange même si celui-ci reste modéré. Ces premières simulations mériteraient d'être complétées avec d'autres cas types pour observer l'effet de ces interactions sur une plus grande diversité de systèmes et pour pouvoir évaluer l'offre et la demande régionales.

Mots clés : interactions culture-élevage, modélisation, optimisation économique, échange paille-fumier, filière foin de luzerne, agroécologie

Abstract

From the second half of the 20th century onwards, the continuous specialization of agricultural holdings and production basins led to numerous biogeochemical and economic imbalances (nutrient cycles opening, dependence on protein-rich raw materials for animal feed, etc.). The implementation of cooperation to promote crop-livestock interactions on the scale of several farms appears to be an alternative to optimize the use and preservation of resources on a specific territory. Our study was carried out as part of the POEETE project (Crop-Livestock on a Farm and Territory scale) PSDR 4 in the Burgundy-Franche-Comté and former Rhône-Alpes regions. Our objective was to make an economic estimation of the implementation of crop-livestock interactions on the scale of several farms in accordance with agroecology. A first study on the analysis of the transaction costs of four cooperative approaches between farms on crop-livestock interactions highlighted the importance of interpersonal relationships and the specificity of the commodity or production tool exchanged in the cost distribution. The second axis focused on estimating the economic interest of a crop-livestock interaction approach between a field crop farm and a typical livestock farm in straw-manure exchange. This cooperation aimed at improving the fertility of the cultivated soils and reducing the use of synthetic fertilizers. The third axis focused on a short alfalfa hay chain to improve soil fertility, reduce inputs and risks of grain farmers and promote a local protein supply for farmers. We were able to establish a price ranged from 10 to 18 €/t for the purchase/sale of manure and a range of 167-189 €/t for alfalfa hay. In both cases, farmers (stockbreeders and grain farmers) could find an economic interest in the exchange even if it remains moderate. These initial simulations would need to be supplemented with other test cases to observe the effect of these interactions on a wider range of systems and to be able to assess regional supply and demand.

Key Words: Crop-livestock interaction, model, economic optimization, straw-manure exchange, Alfalfa hay sector, agroecology