



Université
de Toulouse

THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par Institut National Polytechnique de Toulouse
Discipline ou spécialité : Agrosystèmes, Ecosystèmes et Environnement

Présentée et soutenue par Julie RYSCHAWY
Le 07 Novembre 2012

**Eclairer les conditions de maintien d'exploitations de
polyculture-élevage durables
en zone défavorisée simple européenne.
Une étude de cas dans les Coteaux de Gascogne.**

JURY

Jean-Marc MEYNARD, INRA, UMR SADAPT, Paris - Président du jury
Catherine DISENHAUS, INRA, Agrocampus Ouest, Rennes - Rapporteur
Niels HALBERG, IFCROPS, Danemark - Rapporteur
Jean-Yves DOORMAD, INRA, UMR PEGASE, Rennes - Examineur
Stéphane INGRAND, INRA, UMR Métafort, Theix - Examineur
Annick GIBON, INRA, UMR 1201 DYNAFOR, Toulouse - Directrice de thèse
Alexandre JOANNON, INRA, UMR SAD PAYSAGE, Rennes - Co-directeur de thèse

Ecole doctorale : SEVAB - Agrosystèmes, écosystèmes et environnement
Unité de recherche : INRA, UMR 1201 DYNAFOR
Directeur(s) de Thèse : Annick GIBON et Alexandre JOANNON
Rapporteurs : Catherine DISENHAUS et Niels HALBERG

A Nénette, qui avait toujours tant de choses à faire

A Karl, qui m'a transmis une once de sa fibre agricole

REMERCIEMENTS

Petite déjà, j'expliquais à ma mère que je voulais être trouveur : même si chercheur avait l'air d'un beau métier, je voulais trouver et pas chercher ! Cette formation par la recherche aura pourtant été pour moi une opportunité de réfléchir au long cours, sans attendre de résultat immédiat. Cette thèse m'aura permis d'apprendre à élaborer une démarche, à m'ancrer dans des cadres théoriques et à prendre du recul sur un beau sujet. Et pour m'avoir aidée à parcourir ce chemin riche en apprentissages et en émotions, je tenais à remercier mon entourage.

*« Auriez-vous achevé votre thèse ? [...] - C'est elle qui m'achèvera ! »
Eric-Emmanuel Schmidt, La secte des égoïstes*

Comme une bonne thèse est une thèse terminée, je tenais à adresser mes remerciements à mes encadrants. Je remercie Annick Gibon de m'avoir proposé un sujet aussi passionnant. Je la remercie de m'avoir fait bénéficier de sa grande maîtrise des cadres théoriques nécessaires pour construire ma démarche de thèse. Je tiens à remercier mon co-encadrant, Alexandre Joannon, pour ses qualités agronomiques et humaines. Grâce à lui, j'ai pu enrichir mon approche de zootechnicienne et entrer dans le monde des agronomes. Je le remercie de m'avoir soutenue pendant ces trois années; son sens de l'organisation m'a beaucoup aidée à mener à bien ce travail.

*« Le monde est dangereux et imprévisible, alors qu'on nous vend un monde confortable et sans surprise. »
John Irving, Le monde selon Garp*

Pour avoir rendu ce monde un peu plus confortable, je remercie de tout cœur Jean-Philippe et Norma Choisis. Leur amitié, leur soutien sans faille et leur immense gentillesse ont donné une note particulière à mon quotidien de doctorante. Leur contribution scientifique a aussi été essentielle à mon travail de thèse. Je tiens à remercier les membres de mon comité de pilotage pour m'avoir accompagnée, bien au-delà des réunions annuelles. Merci à Jean-Yves Dourmad dont les compétences et l'ouverture d'esprit m'ont donné envie de réaliser une thèse. Merci à Patrick Veysset qui, malgré ses mésaventures célestes, m'a grandement appuyée tant au niveau des analyses économiques que sur le plan humain. Merci à Delphine Leenhardt pour ses conseils avisés, en particulier sur l'organisation du manuscrit. Merci à Cécile Barnaud de m'avoir redonné du baume au cœur et de la motivation. Nos nombreux échanges ont largement enrichi mon petit background en approche participative. Merci enfin à Pierre-Yves Le Gal de m'avoir « prêté » son modèle et aidée à l'adapter. Notre ambition commune d'apporter des résultats utiles aux agriculteurs a donné une note très concrète à ma thèse.

*« Oui, dit père, je sais, c'est difficile à comprendre au début. Mais c'est indispensable. Pour résoudre des problèmes, il faut d'abord se les poser. »
Roy Lewis, Pourquoi j'ai mangé mon père.*

Je tenais à remercier les membres de mon jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail de thèse. Je remercie Catherine Disenhaus, d'avoir accepté d'être rapporteur de ce travail avec son sens aigü de la critique constructive. Je la remercie de m'avoir motivée à m'orienter en zootechnie et de m'avoir formée. Je remercie Niels Halberg d'avoir évalué mon manuscrit avec une grande pertinence et de m'avoir fait partager ses analyses sur les cadres théoriques que j'ai tenté de mobiliser. Je remercie Jean-Marc Meynard pour ses remarques éclairées sur mon travail ainsi que son soutien ; je me permets de saluer son implication auprès des doctorants du SAD. Je remercie enfin Stéphane Ingrand, avec qui les échanges ont été stimulants tout au long de ma thèse. Un des plaisirs de mon doctorat aura été les retrouvailles passionnantes au congrès annuel de la FEZ.

*« Nous sommes ici pour aider cette jeune fille à faire son travail. Il est utile et indispensable que la recherche construise un regard sur ce que va être l'agriculture de demain. »
M. de Galard, maire de Saint-André, ancien agriculteur et ancien président de la Chambre d'Agriculture 31*

Je tenais à adresser d'immenses remerciements aux agriculteurs des Coteaux de Gascogne pour leur accueil et leur forte implication. Merci en particulier à M. de Galard, Martine, Jean-Claude, Françoise, Patrick, Didier, Jean-Louis, Jane, Michel, Josiane, Fabien et Eric de m'avoir aidée à co-construire ce travail. Merci de m'avoir fait partager vos connaissances ; j'espère être une meilleure agronome maintenant! Merci à Maryse pour avoir ajouté de la convivialité après chaque réunion.

Je souhaitais enfin adresser des remerciements particuliers à Guy Saint-Blancat et Guillaume Rey. Merci à Guillaume d'avoir accepté de co-construire ce lourd travail de simulations prospectives malgré un timing serré ; merci pour nos discussions et échanges, au-delà de la thèse. Enfin, merci, merci, merci à Guy de s'être impliqué dans ce travail, au-delà de mes espérances. Le lapin à la banane entrera sans doute un jour dans la tradition gastronomique française...en attendant, j'espère avoir été une bonne « trouveuse » avant mon embauche pour une compagnie aérienne!

*« J'aimerais vraiment faire quelque chose d'utile »
John Irving, L'œuvre de Dieu, la part du diable*

Je n'aurais pas pu essayer de me rendre utile sans mon intégration dans trois projets de recherche. Aussi tenais-je à remercier le projet Chapay (PSDR 3/INRA-région Midi-Pyrénées). J'en remercie les partenaires locaux: l'ACVA d'Aurignac, la Chambre d'Agriculture de Haute-Garonne, les municipalités de Saint-André, Eoux, Esparron et Peyrissas. Je remercie le projet ANR BiodivagriM et le projet ADD MOUVE pour leur participation au financement de mon travail. Je remercie enfin l'Ecole Doctorale SEVAB dont le concours m'a permis d'obtenir un financement du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt via l'Institut National Polytechnique de Toulouse.

*« Il est important que vous fassiez bien la différence entre votre engagement idéologique, qui a pu motiver le choix de votre sujet, et vos questions scientifiques. Ne restez pas dans l'implicite ! »
Jean-Marc Meynard, Journées des Doctorants du SAD 2010*

Je remercie les membres du département SAD pour leur ouverture d'esprit. Je tenais à remercier Benoît Dedieu pour son important soutien et Caroline Auricoste pour sa présence. Merci à l'équipe du SAD-Paysage pour leurs accueils répétés. Merci aux co-animateurs du projet SPcET, Annick Gibon à nouveau, Alain Havet, Gilles Martel et Jean-Louis Fiorelli avec qui échanger sur la polyculture-élevage a été un plaisir. Merci à Michel Etienne de sa gentillesse et de m'avoir fait découvrir la richesse du groupe ComMod.

Merci enfin à l'équipe des organisateurs des JDD du SAD et en particulier à Bernadette Leclerc et à Cécile Fiorelli pour leur soutien. Ces retrouvailles annuelles dans la bonne humeur m'auront permis de « réfléchir » sur ma thèse et de partager de bons moments. Un clin d'œil spécial à Félix et à la mythologie féline, à Manu et sa coloc, à Pauline, Claire, Médulline et Lucie pour nos discussions.

*« La théorie c'est quand on sait tout et que rien ne fonctionne.
La pratique c'est quand tout fonctionne et que personne ne sait pourquoi.
Ici nous avons réuni théorie et pratique, rien ne fonctionne...et personne ne sait pourquoi ! »
Albert Einstein*

Pour m'avoir aidée au quotidien à réunir théorie et pratique, je souhaitais remercier les collègues du laboratoire Dynafor. Je remercie en particulier Gérard Balent et Marc Deconchat de m'avoir successivement accueillie au sein du laboratoire Dynafor. Je remercie Annie Ouin et David Sheeren de m'avoir proposé le monitorat et leur appui. Merci aux Laurent(s) pour leur bonne humeur quotidienne et leur humour. Je remercie Véronique, Valérie, Jérôme et Claude qui m'ont eux aussi entourée de leurs bonnes ondes. Un remerciement particulier à Coraline Belland, pour son enthousiasme au cours de son stage et à Geneviève Nguyen de nous avoir accompagnées.

Je remercie aussi Jean-Pierre Sarthou de m'avoir fait partager sa passion contagieuse pour l'agro-écologie, lors de déjeuners aussi intéressants qu'agréables. Merci à Vincent Thénard pour son humour et son soutien. Dans le couloir d'en face, j'ai aussi eu la chance de croiser Michel Duru, Guillaume Martin, Olivier Théron, Jean-Pierre Theau et Marc Moraine que je remercie pour leurs conseils.

*« Il faut rire de tout. C'est extrêmement important. C'est la seule humaine façon de friser la lucidité sans tomber dedans. »
Pierre Desproges, Vivons heureux en attendant la mort.*

Dans ces mêmes couloirs, j'ai aussi rencontré deux vagues de jeunes dynaforiens dont les élans humoristiques ont apaisé mes tensions scientifiques. Ainsi, je remercie la première vague : Céline Pistouzi pour un mémorable partage de bureau humoristique et amical ; Audrey pour son amitié, l'Abbé et Seb pour leur gentillesse et leur bonne humeur quotidienne.

Concernant la seconde vague, je tenais à remercier mes deux amies doctorantes: Virginie, pour son dynamisme et nos galopades de plein champ et Lucie, qui même en mode loutre futée, a gardé un humour et une joie de vivre exceptionnels. Je remercie aussi les « éternels jeunes dynaforiens » : mon pétillant ami Will pour son soutien et l'intrépide Sylvie pour son dynamisme sans faille. Merci aux joueurs de badminton et aux jeunes de l'ODR, en particulier à Esteban, le roi de l'organisation.

*« Je serai avec vous par la pensée, de tout cœur, comme si j'y étais en personne. »
Kressman Taylor, Inconnu à cette adresse*

A quoi auraient ressemblé ces années toulousaines sans mes « chouettes » amis ? Pour ne pas avoir eu à me poser cette question, je remercie de tout cœur mon amie Coco qui m'a soutenue et encore mieux intégrée qu'à l'ENSAR. Je remercie ma charmante Dr Dancheng, ma pétillante TL Soso et mes autres dindonnettes favorites, Yasmine et Anaïs, Alice; sans oublier les dindons Mathieu, Flib, Flo et tous mes autres « copains toulousains » qui ont égayé ma vie dans la ville rose. L'année prochaine, c'est promis avec vous « je conduis mon troupeau, hoho, vers les hauts pâturages... » !

Je remercie ma jolie Maéva pour nos éclats de rire et discussions, merci aux danseuses et en particulier à Catherine pour son amitié et ce qu'elle m'a transmis. Merci aussi à mes chers colocos du Québec, Katia, Claire et Micka qui se baladaient entre Toulouse et Lyon. Merci à Hugues, de m'avoir soutenue pendant presque toute cette thèse et d'avoir partagé ma vie. Merci enfin à ma « famille de la Mayrine » : Caro, Franck et Van...sans vous, le quotidien aurait été bien monotone !

*« On se rappelle beaucoup mieux les bons moments; alors, à quoi servent les mauvais? »
Boris Vian, L'écume des jours.*

Et pour m'avoir permis de me rappeler beaucoup de bons moments, je me dois de remercier mes solides copains de la 156 et de faire un clin d'œil à Erquy et Radio Bonheur. Léo, Julie, Jlo et Ophé, Pierre, David, Rico, Bibi, Despe, Vinz, Gaël, Caro, Martin et les autres: nos retrouvailles régulières en commémoration de « la grande époque » m'ont donné de belles bouffées d'air! Merci aussi aux zootechniciens randonneurs de 157 et en particulier à Willy, Lulu, Armelle et à ma chère Justine pour son amitié et tout ce que nous partageons perso- et professionnellement.

Merci aussi à mes amis outre-Atlantique, à Marie, qui est bien proche même si elle est retournée sur « son caillou », à Anahi qui a sait toujours trouver les mots réconfortants, à Tato qui a amené un peu d'Argentine à cette fin de thèse...Merci enfin à mon cher Poulet de me tenir la main quand je patauge trop dans mon futur. Calendriers de l'avent, voyages plus ou moins organisés et échanges téléphoniques illimités resteront inimitables et surtout irremplaçables!

*« Salvador Dali n'aurait jamais pu être inspiré par la gare de Lisieux. »
David Foenkinos, La délicatesse.*

Et pourtant, moi, j'ai été assez inspirée par mon petit bout de Normandie, pluvieux et vert ! Merci de tout cœur à mes amis de bacs à sable de faire partie de ma vie depuis toujours, et en particulier à ma « soeurette » Julie ; à ma chère Génie, à Nad et Bas ; à mon « parisien » et ju-jistsuka favori Juju, à Ugo et Elodie. Merci enfin à Valérie, Paul & compagnie pour leur humour et leur soutien.

Pour terminer, j'adresse le plus grand merci à mes parents pour leur attention, leur soutien, l'éducation qu'ils m'ont offerte et leur humour. Merci à mon grand-père de son attention, ses encouragements et de m'avoir donné un modèle de réussite ; merci à Martine et Jeannot ainsi qu'à Michou de leur présence. Et surtout merci à ma grand-mère de m'avoir transmis autant et de m'avoir permis de relativiser sur l'importance des choses.

Merci enfin à tous ceux qui m'ont offert un sourire ou ont partagé avec moi un éclat de rire...

Soutiens financiers

Le travail présenté dans cette thèse a été effectué au sein de l'UMR « Dynamique et Ecologie des paysages Agriforestiers » (UMR 1201 « DYNAFOR » INRA-INPT/ENSAT et IE Purpan). Il a bénéficié de soutiens octroyés par diverses instances et agences de financement de la recherche.:

- le Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche qui a financé ma bourse mensuelle MENRT via l'Institut National Polytechnique de Toulouse pendant ces trois années de thèse.
- l'Agence Nationale de la Recherche, dans le cadre des projets : «Conservation de la biodiversité dans les agro-écosystèmes : une modélisation spatialement explicite des paysages » (Projet BiodivagriM- ANR-07-BDIV, 2008-2012), ainsi que des projets « Transformations de l'élevage et gestion des espaces » (Projet TRANS- ANR-05-PADD-03-004, 2005-2009) et « Les interactions Elevage et Territoire dans la mise en mouvement de l'intensification écologique » (Projet ANR-2010-STRA-005 MOUVE, 2011-2016).
- la Région Midi-Pyrénées et l'INRA, dans le cadre du projet « Changement d'utilisation agricole et forestière des terres et dynamique des paysages agriforestiers de Midi-Pyrénées » (CHAPAY) du programme de recherche Pour et Sur le Développement Régional en Midi-Pyrénées » (PSDR, 2008-2011).

Je tiens à les en remercier en particulier ici.



Liste d'articles et communications

Publications scientifiques en premier auteur :

- Ryschawy J, Choisis N, Choisis JP, Joannon A and Gibon A 2012. Mixed crop-livestock systems : an economic and environmental-friendly way of farming? *Animal* 6 (10), pp 1722-1730
- Ryschawy J, Choisis N, Choisis JP and Gibon A 2012. Paths to last in mixed crop-livestock farming: lessons from an assessment of farm trajectories of change. *Animal*, doi:10.1017/S1751731112002091.
- Ryschawy J, Choisis JP, Joannon A, Gibon A and Le Gal PY. Evaluating innovative scenarios to enhance sustainability of crop-livestock farms : a prospective process in partnership. In prep
- Ryschawy J, Joannon A and Gibon A. La polyculture-élevage : enjeux et questions de recherche. Une revue. Soumis à Cahiers Agricultures.

Communications à des congrès scientifiques:

- Ryschawy, J., Choisis, N., Choisis, J.-P. and Gibon, A. Understanding how farmers last over the long term : a typology of trajectories of change in farming systems. A French case-study. In 62nd Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Congress Session 55: Social pillar of sustainability, August 26th to September 2nd 2011, Stavanger, Norway.
- Ryschawy, J., Choisis, J.-P., Choisis, N, Joannon, A and Gibon, A.,2010. Mixed crop-livestock farming: an economical and environmental-friendly way to intensify production? A case -study in a European context. In 61st Annual Meeting of the European Association for Animal Production, August 23th to 27th 2010, Heraklion, Creta, Greece.

Autres communications scientifiques:

- Cournut S, Rapey H, Nozières MO, Pocard-Chapuis R, Corniaux C, Choisis JP, Ryschawy J, Madelrieux S 2012. Dynamics of livestock farming in extensive livestock farming territories: what processes are going on? In 10th European Symposium on Farming and Rural Systems Research and Extension, 1-4 July 2012, Aarhus, Denmark.
- Cournut S, Rapey H, Nozières MO, Pocard-Chapuis R, Corniaux C, Choisis JP, Ryschawy J, Madelrieux S 2012. Dynamics of livestock farming in extensive livestock farming territories: what processes are going on? In 63rd Annual Meeting of the European Federation of Animal Production, 27-31 August 2012, Bratislava, Slovakia.

Autres communications scientifiques (suite):

- Gibon A, Ryschawy J, Schaller N, Blouet A, Coquil X, Martin P, Fiorelli JL, Havet A and Martel G 2012. Why and how to analyse the potential of mixed crop-livestock farming systems for sustainable agricultural and rural development at landscape level? In 10th European IFSA Symposium (International Farming Systems Association), 1-4 July 2012 Aarhus, Denmark.
- Gibon A, Ryschawy J, Schaller N, Blouet A, Coquil X, Martin P, Fiorelli JL, Havet A and Martel G 2011. L'élevage, un atout pour le développement durable des territoires dans les régions de polyculture-élevage. In Renc. Rech. Ruminants, 18, pp 369-372.
- Havet A, Coquil X, Fiorelli JL, Gibon A, Martel G, Roche B; Ryschawy J, Schaller N et Dedieu B. 2012. Crop-livestock interfaces established through adaptations of farmers' practices over the short and long term. International crop-livestock Symposium, 8-12 Octobre 2012, Puerto Allegre. Brésil.
- Kelemen E, Nguyen G, Gomiero T, Kovács E, Choisís JP, Choisís N, Paoletti MG, László P, Ryschawy J, Sarthou JP, Balázs K. Farmers' perceptions on biodiversity: Lessons learnt from a discourse-based qualitative valuation study. Submitted to Land Use Policy

Articles de vulgarisation

- Ryschawy Julie, Choisís Jean-Philippe, Gibon Annick. La polyculture-élevage des Coteaux de Gascogne: un système de production durable ? Projet PSDR, région Midi-Pyrénées, Série Les Focus PSDR3, 4 pp.
- Ryschawy Julie, Choisís Jean-Philippe, Gibon Annick. Quelles trajectoires d'évolution des exploitations depuis 1950 dans les Coteaux de Gascogne ? Projet PSDR, région Midi-Pyrénées, Série Les Focus PSDR3, 4 pp.
- Ryschawy Julie, Choisís Jean-Philippe, Gibon Annick. Quelles innovations techniques pour maintenir la polyculture-élevage dans les Coteaux de Gascogne. Projet PSDR, région Midi-Pyrénées, Série Les Focus PSDR3, 4 pp.
- France Agricole, 2012. Envisager des pistes d'adaptation avec l'INRA. N°3429, 30 mars 2012, p 24
- Trait d'Union Paysan, 2012. L'INRA se penche sur l'avenir des exploitations de polyculture-élevage. N°1398. 23 février 2012, p 5.

AVANT-PROPOS

Ce manuscrit est composé d'une première partie synthétique mettant en avant la démarche générale de la thèse et les principaux résultats obtenus. Les articles publiés ou soumis pendant la thèse font l'objet d'une seconde partie. Ce format, très courant en Europe du Nord, est un compromis entre une thèse sur articles et une thèse classique.

Table des matières

| | |
|---|----|
| PARTIE 1: MANUSCRIT | 1 |
| Introduction générale (Article 1) | 2 |
| Un regain d'intérêt mondial pour la polyculture-élevage..... | 2 |
| Quels enjeux pour la polyculture-élevage au niveau mondial ?..... | 5 |
| <i>Une place de la polyculture-élevage différente entre pays du Sud et du Nord</i> | 5 |
| <i>Des enjeux transversaux autour de la polyculture-élevage</i> | 6 |
| <i>Des enjeux localisés, en lien avec les contextes géopolitiques</i> | 7 |
| Des enjeux abordés de manière inégale par la recherche | 8 |
| <i>Un besoin de recherches sur les enjeux transversaux de la polyculture-élevage</i> | 8 |
| <i>Des recherches essentiellement disciplinaires axées sur le système technique de production</i> | 8 |
| <i>Une prise en compte concrète des enjeux de développement des exploitations au Sud.</i> | 9 |
| <i>Un renouveau d'intérêt récent pour la polyculture-élevage au Nord.</i> | 10 |
| Question de thèse..... | 11 |
| | |
| Chapitre 1 : Démarche générale | 12 |
| 1.1. Cadres théoriques mobilisés | 12 |
| 1.1.1. <i>Une approche intégrée des exploitations agricoles</i> | 12 |
| 1.1.2. <i>...vues comme des systèmes complexes adaptatifs en contexte incertain</i> | 13 |
| 1.1.3. <i>... qui intègrent un système technique piloté par un agriculteur.</i> | 13 |
| 1.2. Présentation de la démarche | 14 |
| <i>Sous-question 1</i> | 16 |
| <i>Sous-question 2</i> | 16 |
| <i>Sous-question 3</i> | 17 |
| 1.3. Une démarche mise en œuvre sous forme d'étude de cas | 18 |
| 1.3.1. <i>Motivations et région d'étude retenue</i> | 18 |
| 1.3.2. <i>Dispositif de recherche existant sur le site d'étude retenu</i> | 19 |
| 1.3.3. <i>Orientations de la production agricole locale.</i> | 20 |
| 1.3.4. <i>Collecte des données</i> | 22 |

| | |
|---|-----------|
| Chapitre 2: Evaluation économique et environnementale des systèmes de polyculture-élevage (Article 2) | 23 |
| 2.1. Matériel et méthodes | 23 |
| 2.1.1. <i>Echantillon considéré et classification des exploitations</i> | 23 |
| 2.1.2. <i>Indicateurs économiques mobilisés</i> | 23 |
| 2.1.3. <i>Indicateurs environnementaux mobilisés</i> | 24 |
| 2.1.4. <i>Analyse des données</i> | 24 |
| 2.2. Synthèse des résultats | 25 |
| 2.2.1. <i>La polyculture-élevage locale : un bon compromis environnemental et économique</i> | 25 |
| 2.2.2. <i>La polyculture-élevage locale minimise les coûts et la sensibilité aux marchés</i> | 25 |
| 2.2.3. <i>La polyculture-élevage locale est relativement favorable à l'environnement</i> | 26 |
| 2.2.4. <i>La polyculture-élevage : une option intéressante à des échelles plus larges</i> | 27 |
| 2.3. Discussion | 28 |
| 2.3.1. <i>Des résultats en accord avec la littérature internationale</i> | 28 |
| 2.3.2. <i>Impact des potentialités du territoire sur les résultats économiques des exploitations</i> | 28 |
| 2.3.3. <i>Une diversité des systèmes de polyculture-élevage à l'échelle locale qui appelle un approfondissement du diagnostic</i> | 29 |
| Synthèse du chapitre: | 30 |

| | |
|---|-----------|
| Chapitre 3: Les trajectoires conduisant au maintien d'exploitations de polyculture-élevage (Article 3) | 31 |
| 3.1. Matériel et méthodes | 31 |
| 3.2. Synthèse des résultats | 34 |
| 3.2.1. <i>Cinq types de « chemins pour durer » localement</i> | 34 |
| 3.2.2. <i>Des facteurs de contexte ont influé sur le maintien de la polyculture-élevage</i> | 36 |
| 3.3. Discussion | 37 |
| 3.3.1. <i>Une diversité locale de « chemins pour durer » en polyculture-élevage</i> | 37 |
| 3.3.2. <i>Des stratégies adaptatives locales en partie comparables à celles d'autres régions</i> | 38 |
| 3.3.3. <i>Limites et principaux intérêts de l'étude des trajectoires de changements passés</i> | 39 |
| Synthèse du chapitre : | 40 |

| | |
|--|-----------|
| Chapitre 4 : Des innovations pour conforter la durabilité des exploitations de polyculture-élevage. (Article 4) | 41 |
| 4.1. Matériel et méthodes | 41 |
| 4.1.1. Démarche générale | 41 |
| 4.1.2. Modèle de simulation et cas réels retenus | 43 |
| 4.1.3. Hypothèses de changement futur des politiques et marchés agricoles..... | 45 |
| 4.2. Synthèse des résultats | 46 |
| 4.2.1. Des intercultures fourragères pour durer dans le type « Autonomie » | 46 |
| 4.2.2. Un atelier de finition de génisses pour durer dans le type « Diversification » | 49 |
| 4.2.3. Evaluation de la sensibilité des innovations en contextes futurs contrastés | 51 |
| 4.3. Discussion..... | 52 |
| 4.3.1. Des innovations au carrefour de préoccupations sur la polyculture-élevage..... | 52 |
| 4.3.2. Une robustesse questionnée face à des incertitudes fortes de l'environnement..... | 53 |
| 4.3.3. Connaissances actionnables pour les partenaires | 54 |
| 4.3.4. Une démarche originale de conception en partenariat..... | 55 |
| Synthèse du chapitre:..... | 56 |
| | |
| Chapitre 5 : Discussion Générale | 57 |
| 5.1. Contribution à la question de la durabilité des exploitations de polyculture-élevage | 57 |
| 5.1.1. Des systèmes de polyculture-élevage locaux d'intérêt pour une durabilité économique et environnementale | 57 |
| 5.1.2. ...éclairée par des stratégies adaptatives particulières..... | 58 |
| 5.1.3. ...qui ont permis un relatif maintien de la polyculture-élevage en zones défavorisées..... | 58 |
| 5.1.4. Des innovations en lien avec les stratégies adaptatives des agriculteurs peuvent faciliter le maintien futur d'exploitations de polyculture-élevage. | 59 |
| 5.1.5. Un changement de paradigme pour revenir à une logique de polyculture-élevage..... | 60 |
| 5.1.6. Facteurs et échelles non considérés par rapport au maintien de la polyculture-élevage... | 61 |
| 5.2. Une démarche originale de prospective en partenariat | 64 |
| 5.2.1. Un essai d'application concrète des théories des systèmes complexes adaptatifs..... | 64 |
| 5.2.2. Analyse de la recherche en partenariat conduite | 66 |
| 5.2.3. Posture du chercheur dans notre démarche en partenariat | 70 |
| | |
| Conclusion | 72 |
| Perspectives | 75 |

| | |
|---|-----|
| <i>Références bibliographiques</i> | 76 |
| PARTIE 2: ARTICLES | 88 |
| <i>Liste des publications insérées dans le manuscrit</i> | 88 |
| ARTICLE 1 : La polyculture-élevage : enjeux et questions de recherche. une revue | 89 |
| ARTICLE 2: Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming? | 115 |
| ARTICLE 3: Paths to last in mixed crop-livestock farming: lessons from an assessment of farm trajectories of change..... | 139 |
| ARTICLE 4: Evaluation participative de scénarios innovants pour renforcer la durabilité d'exploitations de polyculture-élevage..... | 161 |

Liste des acronymes

ACP : Analyse en Composantes Principales

ANOVA : Analyse de la Variance

ANR : Agence Nationale pour la Recherche

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CUMA : Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole

EA : Exploitation Agricole

GES : Gaz à Effets de Serre

HEIA : High External Inputs Agriculture (Agriculture à forts intrants)

IC : Intercultures

LEIA : Low External Inputs Agriculture (Agriculture à faibles intrants)

MBG : Marge Brute Globale

NCA : New Conservation Agriculture (Nouvelle Agriculture de Conservation)

NS : Nitrogen Surplus (Surplus annuel d'azote)

OTEX : Orientations Technico-Economiques des Exploitations

PAC : Politique Agricole Commune

PCE : Polyculture-élevage

PP : Prairie Permanente

PT : Prairie Temporaire

RICA : Réseau d'Information Comptable Agricole

SAD : Sciences pour l'Action et le Développement

SAU : Surface Agricole Utile

SCOP : Surface Céréales Oléo-Protéagineux

SFP : Surface Fourragère Principale

STH : Surface Toujours en Herbe

tMS : tonne de Matière Sèche

UGB : Unité Gros Bovin

UMR : Unité Mixte de Recherche

UTA : Unité de Travail Agricole

ZDS : Zone Défavorisée Simple

Liste des figures du manuscrit

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Diagramme intégré de flux biophysiques dans le système de polyculture-élevage . | 3 |
| Figure 2 : a) Diagramme des flux dans un système technique de polyculture élevage b) Représentation conceptuelle du « système d'élevage ». | 14 |
| Figure 3 : Plan d'ensemble de la démarche de thèse. | 15 |
| Figure 4 : Localisation du site d'étude | 19 |
| Figure 5 : Principaux types d'utilisation du sol en 2006. | 20 |
| Figure 6 : Exemple de représentation graphique individuelle d'une trajectoire d'exploitation. | 32 |
| Figure 7 : Résultats de la classification des trajectoires en lien avec les deux premiers facteurs les discriminant. | 35 |
| Figure 8 : Déroulement de la démarche de prospective | 42 |
| Figure 9 : Représentation du fonctionnement de l'outil de simulation CLIFS. | 43 |
| Figure 10 : Photographies de la réunion de construction du métaplan | 45 |
| Figure 11 : Chemins pour l'intégration élevage-cultures | 64 |
| Figure 12 : Apprentissage et modèles mentaux | 69 |

Liste des tableaux du manuscrit

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Caractéristiques principales des exploitations enquêtées sur le cas d'étude | 21 |
| Tableau 2 : Classement des systèmes de production par indicateur mobilisé dans l'étude | 26 |
| Tableau 3 : Variables retenues pour décrire les trajectoires individuelles des exploitations .. | 33 |
| Tableau 4 : Facteurs de contexte impliqués dans le maintien de la polyculture-élevage..... | 36 |
| Tableau 5 : Représentativité des deux cas réels retenus par rapport à leur type de trajectoire. | 44 |
| Tableau 6 : Présentation de la déclinaison locale de scénarios futurs contrastés des politiques et des marchés. | 46 |
| Tableau 7 : Résultats des simulations sur l'exploitation de type « Autonomie »..... | 48 |
| Tableau 8 : Résultats des simulations sur l'exploitation de type « Diversification » | 50 |
| Tableau 9 : Déclinaison de l'implication des principes de l'adaptation pour notre étude | 65 |
| Tableau 10 : Analyse du pilotage de la démarche en partenariat adapté de Soulard et al. (2007) | 68 |

PARTIE 1: MANUSCRIT

Introduction générale (Article 1)

Un regain d'intérêt mondial pour la polyculture-élevage

La modernisation de l'agriculture a conduit, sous l'influence des marchés mondiaux et des politiques publiques, à la spécialisation des systèmes agricoles (Antrop, 2005 ; Chatelier et Guyomard, 2008). Les impacts négatifs de ce modèle international de développement sont aujourd'hui largement informés, au plan environnemental en particulier (Griffon, 2009; Vermersch, 2007). La polyculture-élevage est alors reconsidérée par de nombreux auteurs comme une alternative prometteuse à la spécialisation (Hendrickson *et al.*, 2008b; Russelle *et al.*, 2007; Wilkins, 2008). Associer productions animales et végétales à l'échelle de l'exploitation permettrait une durabilité économique et environnementale de l'agriculture et des territoires (Herrero *et al.*, 2010 ; Schiere *et al.*, 2002).

Les complémentarités fortes entre élevage et cultures via notamment le recyclage des nutriments limiteraient en effet les pertes vers l'environnement (Hendrickson *et al.*, 2008a; Schiere *et al.*, 2002) tout en permettant une agriculture productive et économiquement viable (Russelle et Franzluebbbers, 2007, Wilkins, 2008). En ce sens, les exploitations de polyculture-élevage seraient « *éco-efficientes* » (Wilkins, 2008), c'est-à-dire économiquement et écologiquement efficaces. Certains économistes considèrent d'ailleurs l'exploitation de polyculture-élevage comme l'archétype des coordinations entre cultures et élevage, fondé sur des économies de gamme générées par l'élaboration conjointe de diverses productions (Vermersch, 2007). Certains auteurs soulignent néanmoins des limites à la polyculture-élevage si les ateliers sont juxtaposés avec une faible coordination entre élevage et cultures (Bell et Moore, 2012 ; Hendrickson *et al.*, 2008b ; Schiere et Kater, 2001). Ainsi, les conditions d'une polyculture-élevage favorable à un développement durable¹ de l'agriculture doivent être précisées.

¹ Le concept de développement durable est une vision politique incluant une certaine éthique et mettant en avant le « besoin de prêter attention aux conséquences des technologies actuelles et des orientations de développement pour les générations présentes et futures (Brundtland et Khalid, 1987).

Ce concept est décliné par les scientifiques selon le concept de durabilité, que nous mobiliserons dans cette thèse. Nous voyons ici la durabilité comme « la capacité d'un système à se reproduire sur le temps long » (Gibon et Hermansen, 2006; Thompson et Nardone, 1999).

La polyculture-élevage : un large panel d'agricultures

Les articles de recherche portant sur la polyculture-élevage proposent rarement une définition précise des systèmes de polyculture-élevage considérés. Le terme « polyculture-élevage » est classiquement et implicitement entendu selon une définition agronomique large:

« l'association/intégration entre cultures et élevage dans un cadre coordonné, le plus souvent à l'échelle de l'exploitation agricole, bien que l'association puisse être considérée au niveau régional » (van Keulen et Schiere, 2004). Cette définition est adoptée non seulement par de nombreux agronomes à travers le monde (Hendrickson *et al.*, 2008a ; Powell *et al.*, 2004; Russelle *et al.*, 2007 ; Schiere et Kater, 2001) mais aussi par des économistes (Mazoyer et Roudart, 1997 ; Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008). Schiere et Kater (2001) ont pointé la dimension fonctionnelle de la polyculture-élevage en précisant que : « dans la plupart des systèmes de polyculture-élevage, les sorties d'un atelier servent de ressource à un autre ». Les effluents d'élevage sont utilisés pour fertiliser les sols et améliorer la productivité des cultures ; les cultures et co-produits de cultures servent à alimenter les troupeaux (Figure 1).

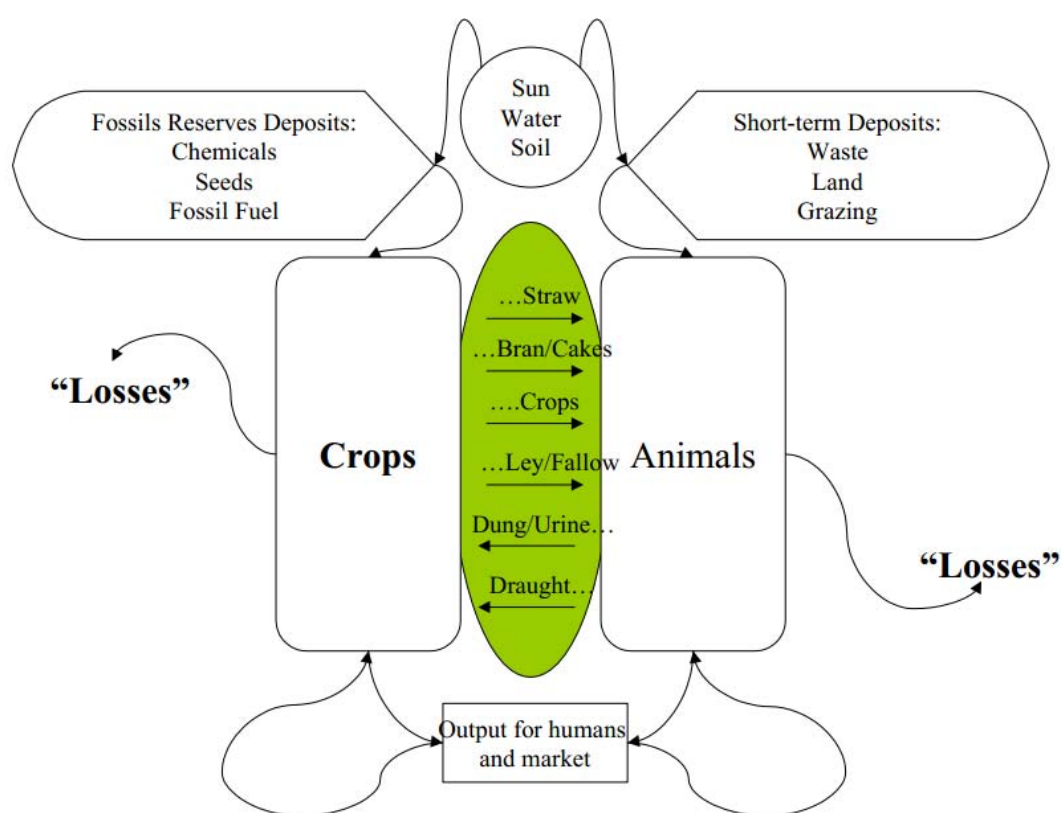


Figure 1 : Diagramme intégré de flux biophysiques dans le système de polyculture-élevage (Schiere *et al.*, 2002)

Ewing et Flugge. (2004) soulignent néanmoins qu'une telle définition de la polyculture-élevage recouvre un large panel de stratégies à l'échelle de l'exploitation agricole en fonction du climat, des sols et des conditions sociales qui amènent à une très large variété d'agricultures. Cette définition intègre par exemple des exploitations vendant uniquement des productions animales mais autoproduisant leur alimentation (Schiere *et al.*, 2002).

Prendre en compte la dimension économique permet de préciser la définition de la polyculture-élevage. Allier cultures et élevage pour la vente à l'échelle de l'exploitation est aussi reconnu pour sécuriser l'exploitation par rapport aux fluctuations des marchés agricoles (Bell et Moore, 2012; Vermersch, 2007). La commercialisation de produits agricoles diversifiés permet en effet de limiter les impacts négatifs d'un marché conjoncturellement peu favorable à l'une des productions. Les économistes Seré *et al.* (1996) ont intégré cette dimension pour préciser leur définition de la polyculture-élevage. Ils ont proposé des valeurs-seuils permettant d'inclure ou non les exploitations en polyculture-élevage. Selon eux, les exploitations de polyculture-élevage sont « *des systèmes d'élevage dans lesquels plus de 10% de la matière sèche pour l'alimentation animale provient de co-produits végétaux de l'exploitation et plus de 10% de la valeur produite provient d'activités agricoles autres que l'élevage* ». La polyculture-élevage est alors définie selon un degré minimal d'intégration entre élevage et cultures et une diversité des produits commercialisés. Cette définition qui couple des bases agronomiques et économiques est largement reprise dans la bibliographie internationale (Devendra et Thomas, 2002 ; Schiere et Kater 2001 ; Thornton *et al.* 2003).

Des classifications plus précises des systèmes de polyculture-élevage ont été proposées. Schiere *et al.* (2002) classent les systèmes répondant à la définition de Seré *et al.* (1996) parmi trois types d'agricultures différenciés selon trois facteurs-clés : terre, travail et capital. Les systèmes classés en agriculture à bas intrants et agriculture de conservation se basent sur des interactions fortes entre cultures et élevage permettant une utilisation efficiente des ressources. Les systèmes d'agriculture à forts intrants correspondent en revanche à la juxtaposition d'ateliers spécialisés ayant un recours important aux intrants. Cette classification permet alors de préciser la pertinence des systèmes de polyculture-élevage en lien avec le niveau d'intégration cultures-élevage. Herrero *et al.* (2010) ont précisé leur définition des systèmes de polyculture-élevage selon leur degré d'intensification et les ont décrits suivant leur localisation à travers le monde. Ewing et Flugge (2004) soulignent aussi l'importance de donner une définition localisée de la polyculture-élevage. Les enjeux des exploitations de

polyculture-élevage peuvent en effet être contrastés selon leur localisation dans les pays dits du nord et les pays dits du sud.

Quels enjeux pour la polyculture-élevage au niveau mondial ?

Une place de la polyculture-élevage différente entre pays du Sud et du Nord

La polyculture-élevage représente à travers le monde la plus importante catégorie de systèmes agricoles intégrant de l'élevage en nombre de têtes, productivité et nombre de personnes employées (Thornton *et al.*, 2003). Ce type d'agriculture permet d'ailleurs de produire environ la moitié de l'alimentation mondiale selon Herrero *et al.* (2010). Les exploitations de polyculture-élevage se sont principalement développées dans les pays du sud, où elles constituent actuellement l'une des formes prédominantes d'agriculture (Herrero *et al.*, 2010). La polyculture-élevage est majoritaire dans trois grandes zones du monde en développement (Schiere et Kater, 2001) : l'Afrique du Sud-Ouest (Dugué *et al.*, 2004), l'Asie du Sud-Est (Devendra et Thomas, 2001) et, dans une moindre mesure, en Amérique du Sud (Siegmund-Schultze *et al.*, 2010). Les exploitations de polyculture-élevage du sud ont majoritairement vocation d'autosubsistance, même si certaines ont évolué en exploitations marchandes de taille moyenne en Asie et en Amérique du Sud (Dufumier, 2006).

Dans les pays du Nord, en revanche, les exploitations de polyculture-élevage d'autosubsistance, traditionnelles dans les années 1950 (Mazoyer et Roudart, 1997), ont laissé place à des exploitations spécialisées. En Europe, le nombre d'exploitations de polyculture-élevage a diminué de 70% entre 1975 et 1995 (European Commission, 1999). Cette tendance semble se poursuivre en France (Agreste, 2010). Les orientations de la Politique Agricole Commune (PAC), en particulier les soutiens aux grandes cultures et à la modernisation, et la mondialisation des marchés ont incité à la spécialisation des exploitations européennes (Gagné *et al.*, 2012 ; Meynard, 2012). Ces orientations, associées à une diminution de la main d'œuvre agricole, ont largement marginalisé les exploitations de polyculture-élevage (Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008). Les exploitations de polyculture-élevage restantes se sont modernisées et ont évolué en exploitations marchandes (Dufumier, 2006).

Leur maintien est principalement observé dans des zones dites défavorisées dans lesquelles les agriculteurs ont moins suivi les incitations à la spécialisation (Darnhofer *et al.*,

2010). En 2010, leur part dans les exploitations des Zones Défavorisées Simples (ZDS)² françaises était de 25% par rapport à 12,6 % à l'échelle de la France (Agreste, 2010). Le contexte pédoclimatique y a été peu favorable à une spécialisation en grandes cultures bien que permettant tout de même d'en produire ; l'élevage de ruminants y était culturel. Ainsi, des exploitations de polyculture-élevage se sont maintenues dans le Dakota nord ou au sud-est des Etats-Unis (Franzluebbers et Stuedemann, 2007 ; Hendrickson et al., 2008c ; Russelle et Franzluebbers, 2007) ainsi que dans des zones de piémont européennes, dites zones défavorisées simples (Bassanino et al., 2007 ; Choisis et al., 2010).

Des enjeux transversaux autour de la polyculture-élevage

La localisation des exploitations de polyculture-élevage dans des contextes géopolitiques et pédoclimatiques contrastés conduit à des problématiques de développement différentes entre les polycultures-élevages des pays du Nord et des pays du Sud (Schiere et Kater, 2001). Certains types d'enjeux sont néanmoins transversaux. Les enjeux de durabilité environnementale et économique sont en particulier cités dans toutes les zones.

Au niveau environnemental, les exploitations de polyculture-élevage peuvent allier production agricole et maintien de la biodiversité locale (par exemple Hendrickson *et al.*, 2008b ; Russelle *et al.*, 2007 ; Griffon, 2009 pour les pays du Nord ; Devendra et Thomas, 2002 pour l'Asie ; Powell *et al.*, 2004 et Thornton *et al.*, 2003 pour l'Afrique ou encore Siegmund-Schultze *et al.*, 2010 ; Swinton et Quiroz, 2003 pour l'Amérique du Sud). Des études récentes pointent aussi un intérêt des systèmes de polyculture-élevage pour maintenir la qualité des sols sur le moyen terme (par exemple Schiere et Kater, 2001 au niveau international ; Franzluebbers et Stuedemann, 2007 ; Russelle *et al.*, 2007 pour les Etats-Unis ; Wilkins, 2008 pour l'Europe ; Devendra et Thomas, 2002 pour l'Asie ; Lenné et Thomas, 2006 et Powell *et al.*, 2004 pour l'Afrique sub-saharienne).

Au niveau économique, la diversité des produits commercialisés offrirait aux exploitations de polyculture-élevage une sécurité par rapport aux fluctuations de marchés (par

² Les zones agricoles défavorisées sont des territoires victimes de handicaps économiques, agricoles, physiques et démographiques spécifiques (Agreste, 2010) . Dans les zones défavorisées simples, les exploitants agricoles sont confrontés à des handicaps naturels liés à la pente et à des sols peu productifs.

exemple Veysset et al, 2005 et Wilkins, 2008 ; pour les pays du Nord et Dugué *et al.*, 2004 , Lhoste, 2004 ; Powell *et al.*, 2004 et Thornton *et al.*, 2003 pour les pays du sud. Associer cultures et élevage à l'échelle de l'exploitation permet de réaliser des économies de gamme, c'est-à-dire de minimiser leur quantité d'intrants, par l'élaboration conjointe de productions diversifiées (Vermersch, 2007; Wilkins, 2008 pour les pays du Nord et Devendra et Thomas, 2002 ; Dufumier, 2006 ; Lhoste, 2004 ; pour les pays du Sud).

Des enjeux localisés, en lien avec les contextes géopolitiques

Comme nous l'avons souligné précédemment, certains enjeux fondamentaux auxquels la polyculture-élevage doit répondre sont contrastés entre pays du Nord et pays du Sud. Au Sud, l'augmentation de la production agricole régionale reste primordiale. L'amélioration de la productivité des exploitations de polyculture-élevage est alors vue comme une voie privilégiée de développement de l'agriculture (Dugué *et al.*, 2004). L'enjeu principal est alors de trouver les voies d'une intensification de la production agricole qui permette la subsistance des exploitations agricoles actuelles dans une économie de marché (Dufumier, 2006; Lhoste, 2004). Cette intensification pourrait alors offrir le plein emploi de la main d'œuvre agricole familiale au sein de ces exploitations de polyculture-élevage (Devendra et Thomas, 2002 ; Dufumier, 2006 ; Powell *et al.*, 2004 ; Thornton *et al.*, 2003). Elle pourrait même être la clé d'une sécurité alimentaire mondiale (Herrero *et al.*, 2010).

Au Nord, les enjeux de l'agriculture se sont en revanche déplacés, dès le début des années 1990, vers des questions de réduction des externalités environnementales négatives (Griffon, 2009). La polyculture-élevage, qui avait été jusque-là marginalisée, connaît depuis un regain d'intérêt. Les exploitations de polyculture-élevage sont reconnues pour limiter l'utilisation d'intrants en renforçant leur autonomie (Russelle et Franzluebbbers, 2007 ; Hendrickson *et al.*, 2008c ; Coquil *et al.*, 2009). Optimiser le recyclage des nutriments répond d'ailleurs à une préoccupation majeure au Nord : la gestion des ressources au sein des écosystèmes (Griffon, 2009 ; van Keulen et Schiere, 2004). Le rôle multifonctionnel de la polyculture-élevage intégrant des ruminants pâturent des prairies permanentes est aussi reconnu (Gibon *et al.*, 2011b ; Lemaire *et al.*, 2003 ; Veysset *et al.*, 2005). Néanmoins, la polyculture-élevage nécessite une main d'œuvre importante (Hendrickson *et al.*, 2008b ; Bell et Moore, 2012), de moins en moins disponible en Europe (Dedieu et Servière, 1997) et au Nord, en général. De plus, la polyculture-élevage, qui associe plusieurs ateliers de production,

ne correspond pas aux logiques d'économies d'échelles, promues par la PAC et les marchés agricoles (Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008). Ainsi, le maintien d'exploitations de polyculture-élevage serait un défi majeur au niveau européen.

Des enjeux abordés de manière inégale par la recherche

Un besoin de recherches sur les enjeux transversaux de la polyculture-élevage

La polyculture-élevage recouvre un large panel d'enjeux, pourtant les efforts de recherche pour y répondre sont très limités, en particulier dans les pays du Nord (Tanaka *et al.*, 2007). La plupart des synthèses recensées sur la polyculture-élevage l'abordent d'un point de vue théorique ou se basent sur des descriptions d'experts selon des zones agro-écologiques ciblées (Schiere et Kater, 2001 au niveau mondial ; Devandra et Thomas, 2002 en Asie, Thornton et Herrero, 2001 en Afrique ; Russelle *et al.*, 2007 aux Etats-Unis). Elles mettent en avant un besoin de vision intégrée pour répondre aux enjeux de la polyculture-élevage, d'un point de vue d'agronomes (Russelle *et al.*, 2007 aux Etats-Unis ou Hendrickson *et al.*, 2008c) ou d'économistes (Vermersch, 2007 ou Wilkins, 2008). Les exploitations de polyculture-élevage y sont présentées comme complexes, du fait des nombreuses interactions entre leurs composantes (van Keulen et Schiere, 2004 ; Hendrickson *et al.*, 2008a). Schiere et Kater (2001) soulignent d'ailleurs que les exploitations de polyculture-élevage sont fondées sur le « *communal ideotype* » selon lequel « *le rendement de l'ensemble est plus important que le rendement de ses parties isolées* ». Etudier seulement certaines composantes de l'exploitation de polyculture-élevage n'aurait donc qu'un intérêt relatif. Tanaka *et al.* (2007) soulignent d'ailleurs que seuls des programmes de recherche intégrée et interdisciplinaire peuvent étudier la polyculture-élevage de manière pertinente.

Des recherches essentiellement disciplinaires axées sur le système technique de production

La plupart des travaux de recherche basés sur des données sont pourtant focalisés sur des problématiques ciblées sur les systèmes techniques de production (*Tableau 3 – Article 1, p. 103 à 106*), par exemple l'amélioration génétique de cultures double-fin pour une meilleure productivité des cultures (Zerbini et Thomas, 2003) ou encore l'évaluation des effets de l'urine sur les propriétés des sols et sur la productivité du millet (Powell et Williams, 1995). Les chercheurs conduisent alors une recherche disciplinaire majoritairement inscrite en

agronomie ou en zootechnie. Leurs analyses se basent sur des statistiques descriptives ou de la modélisation à partir de données issues d'expérimentation ou d'observations de terrain. Lenné *et al.* (2003) incitent par exemple à la multidisciplinarité mais n'adoptent pas une approche intégrée : ils proposent un éclairage d'une question technique (en l'occurrence améliorer la valorisation des cultures double-fin) par différentes disciplines juxtaposées mais ne croisent pas ces analyses. Rares sont les études à l'échelle de l'exploitation de polyculture-élevage au-delà de points de vue techniques (Coquil *et al.*, 2011; Gibon *et al.*, 2011b). Des approches de ce type répondraient pourtant à certains enjeux de durabilité de la polyculture-élevage

La majorité des travaux que nous avons répertoriés dans la littérature scientifique se focalisent sur les flux biophysiques permis par les interactions entre élevage et cultures au sein des systèmes techniques de polyculture-élevage. L'optimisation du recyclage des nutriments est particulièrement renseignée. Depuis la dernière décennie, la question est élargie au renforcement de l'autonomie en intrants de l'exploitation via les coordinations entre élevage et cultures (par exemple Hendrickson *et al.*, 2008c; Russelle *et al.*, 2007 ; Schiere et Kater, 2001 ; Wilkins, 2008). Des approches expérimentales sont proposées pour éclairer les formes possibles de coordination entre élevage et cultures (Coquil *et al.*, 2009). Ces analyses pourraient permettre de concevoir des exploitations de polyculture-élevage à bas intrants en réponse à des enjeux de durabilité environnementale. Les enjeux économiques de la polyculture-élevage sont évoqués de manière théorique par des économistes (Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008) mais peu étudiés. Des travaux conduits en économie de l'élevage répondent néanmoins à des enjeux-clés de la polyculture-élevage européenne : l'adaptation aux évolutions de la PAC (Veysset *et al.*, 2005) et la recherche d'autonomie protéique (Veysset *et al.*, 2007). Ces derniers intègrent le long terme, ce qui manque généralement malgré les recommandations faites par van Keulen et Schiere (2004) qui appellent à étudier les exploitations de polyculture-élevage comme des systèmes complexes³.

Une prise en compte concrète des enjeux de développement des exploitations au Sud.

Sur les cas d'études du Sud, les chercheurs étudient les exploitations de polyculture-élevage en proposant des innovations techniques pour en favoriser l'intensification. Les travaux sont principalement basés sur des problématiques biophysiques visant à améliorer la

³ Un système est « un objet qui, dans un environnement, doté de finalités, exerce une activité et voit sa structure interne évoluer au fil du temps, sans qu'il perde pour autant son identité unique » (Le Moigne , 1977),

productivité de la polyculture-élevage soit du point de vue des cultures (Powell et Williams, 1995 en Afrique sub-saharienne, Devandra, 2001 en Asie ; Zerbini et Thomas, 2003 en Amérique latine), soit du point de vue de l'élevage (Powell *et al.*, 2004 ; Thornton et Herrero, 2001 ; en Afrique subsaharienne ; Devandra et Thomas, 2001 en Asie du Sud-Est ; Siegmund-Schultze *et al.*, 2010 en Amérique du Sud). Les aspects techniques, pour l'accompagnement des agriculteurs, sont centraux dans les études conduites sur la polyculture-élevage des pays du Sud. Rares sont pourtant les travaux intégrant les agriculteurs à cette réflexion (par exemple Le Gal *et al.*, 2011a). Ces travaux permettraient une plus large adoption de techniques, l'implication des acteurs étant reconnues pour permettre d'élaborer des innovations pertinentes (Thornton et Herrero, 2001). Thomas (2002) souligne un manque d'études en conditions réelles d'exploitations agricoles, qu'il considère néanmoins nécessaires pour intégrer la gestion technique de l'exploitation par l'agriculteur.

Un renouveau d'intérêt récent pour la polyculture-élevage au Nord.

La polyculture-élevage a été en revanche peu étudiée dans les pays du Nord, où recherche et conseil se sont longtemps orientés vers une intensification de la production agricole basée sur des économies d'échelle et donc une spécialisation des exploitations (Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008). L'intérêt des exploitations de polyculture-élevage pour une durabilité de l'agriculture n'a été reconsidéré que très récemment aux Etats-Unis (Hendrickson *et al.*, 2008b; Tanaka *et al.*, 2007) et en Europe (Gibon *et al.*, 2011b ; Coquil *et al.*, 2009 ; Projet ADD Praitierre, Peyraud, 2012). Ce renouveau d'intérêt récent peut expliquer le peu de travaux recensés au Nord. Les rares travaux conduits au Nord portent sur des questions au niveau du système technique alors qu'Hendrickson *et al.* (2008a) ont souligné le manque de travaux visant à concevoir des exploitations de polyculture-élevage capables de s'adapter à des changements de contexte tout en maintenant une certaine stabilité. Les innovations techniques proposées pour favoriser la durabilité environnementale sont déconnectées du contexte des exploitations, par exemple Franzluebbbers et Stuedemann (2007) sur l'impact de pratiques de non-labour sur la qualité des sols ou Khakbazan *et al.* (2009) sur l'intérêt d'intégrer de la luzerne dans les exploitations.

Question de thèse

La polyculture-élevage serait donc vue par de nombreux auteurs comme une voie possible pour une durabilité de l'agriculture : ses intérêts économiques et environnementaux potentiels sont particulièrement mis en avant. Le maintien d'exploitations de polyculture-élevage durables serait donc un enjeu important pour une durabilité de l'agriculture en Europe. Ces exploitations y ont néanmoins été largement marginalisées. Comme nous l'avons vu, les exploitations de polyculture-élevage se sont plutôt maintenues dans des zones défavorisées simples, où les agriculteurs ont peu suivi le schéma classique de spécialisation. Il apparaît dès lors fondamental que la recherche étudie les conditions qui ont permis ou non le maintien d'exploitations de polyculture-élevage. Nous chercherons, en particulier, à éclairer la question suivante :

Quelles sont les conditions de maintien d'exploitations de polyculture-élevage durables en zones défavorisées simples européennes?

Les exploitations de polyculture-élevage sont définies dans cette thèse comme: « *des systèmes d'élevage dans lesquels plus de 10% de la matière sèche pour l'alimentation animale provient de co-produits végétaux de l'exploitation et plus de 10% de la valeur produite provient d'activités agricoles autres que l'élevage* » (Seré et al., 1996) .

Le manuscrit est organisé en cinq parties. La première nous permettra de décliner la démarche générale mise en place pour répondre à cette question. Nous déclinerons ensuite la question en trois sous-questions principales, qui constitueront les trois chapitres suivants. Nous appliquerons notre démarche à un cas d'étude en zone défavorisée simple européenne, où un maintien d'exploitations de polyculture-élevage est observé. Nous évaluerons tout d'abord si les exploitations de polyculture-élevage sont plus durables économiquement et environnementalement que les exploitations spécialisées, comme l'avance la bibliographie internationale. Nous analyserons les trajectoires passées d'exploitations de polyculture-élevage pour éclairer les stratégies adaptatives et les facteurs de contexte qui ont permis ou non le maintien de la polyculture-élevage. Nous proposerons enfin une évaluation prospective d'innovations techniques qui permettraient aux agriculteurs de durer à l'avenir en polyculture-élevage dans une perspective de développement durable. Enfin, une discussion générale nous permettra de revenir sur les résultats principaux obtenus dans cette thèse et sur la démarche mise en place.

Chapitre 1 : Démarche générale

1.1. Cadres théoriques mobilisés

La recherche agronomique a longtemps donné la priorité à des recherches de type « *engineering* », en proposant des innovations technologiques pour améliorer l'efficacité de l'activité agricole (Darnhofer *et al.*, 2010 ; Dedieu, 2009). En particulier, des « *paquets technologiques* » ont été proposés dans un environnement implicitement considéré comme stable et prévisible (Norman, 2002). Ce type d'approches a contribué à une certaine uniformisation des systèmes de production agricole (Darnhofer *et al.*, 2010).

Les agriculteurs sont aujourd'hui confrontés à des changements rapides et brutaux de leur environnement économique, politique et climatique (Dedieu, 2009). Le caractère continu et imprévisible des changements de l'environnement amène à s'interroger sur l'action en situation d'incertitude (Lémery, 2003). La clé ne serait pas une optimisation des moyens techniques et économiques à un instant *t* (Veysset *et al.*, 2005) mais un portfolio de solutions possibles (Dedieu, 2009). L'agriculteur choisirait alors la « *solution* » temporaire la plus appropriée à chaque instant (Darnhofer *et al.*, 2010), plutôt qu'une solution « *optimale* » *a priori*. Ces considérations appellent à un renouvellement des cadres d'analyse pour aborder la durabilité des exploitations agricoles (Gibon *et al.*, 1999b ; Gibon et Hermansen, 2006).

1.1.1. Une approche intégrée des exploitations agricoles...

Thompson et Nardone (1999) considèrent que la durabilité des exploitations ne doit plus être uniquement étudiée sous l'angle de la « *disponibilité en ressources pour les générations présentes et futures* » (Brundtland et Kahlid, 1987). Les interactions entre processus de production, sociologiques et écologiques doivent être considérées sous une dimension fonctionnelle, en étudiant leur « *intégrité fonctionnelle* ». En accord avec ces auteurs, **nous adoptons une approche intégrée du fonctionnement et de l'évolution des exploitations qui prend en compte la complexité de l'activité agricole**. Notre travail s'inscrit dans les approches développées en sciences agronomiques, intégrant à la fois sciences sociales, biologiques et environnementales (Brossier *et al.*, 1993 ; Gibon *et al.*, 1999b ; Kristensen et Halberg, 1997). L'exploitation de polyculture-élevage y est vue comme un « *système* », un tout dont les interactions entre composantes sont plus importantes que les composantes seules

(Darnhofer *et al.* 2010). Ce paradigme, dit « *communal ideotype* », est fondamental pour l'étude de la polyculture-élevage à l'échelle de l'exploitation (Schiere et Kater, 2001).

1.1.2. ...vues comme des systèmes complexes adaptatifs en contexte incertain...

Prendre en compte l'incertitude de l'environnement d'une exploitation agricole appelle à considérer qu'elle co-évolue avec celui-ci. **Aussi considérons-nous les exploitations de polyculture-élevage comme des systèmes socio-écologiques complexes adaptatifs au sens de Holling (2001).** Les adaptations de ce concept de l'écologie à l'agronomie nous amènent à considérer que i) l'exploitation associe un groupe social à un système naturel et donc à un environnement et que ii) cet environnement est marqué par le changement continu et l'incertitude (Gibon et Hermansen, 2006).

La durabilité de l'exploitation dépend alors avant tout de sa résilience, c'est-à-dire « *des capacités à perdurer face aux perturbations de son environnement que lui confèrent son organisation* » (Dedieu *et al.*, 2008 ; Gibon et Hermansen 2006 ; Holling, 2001). Thompson et Nardone (1999) rejoignent cette vision en considérant la durabilité d'un système comme sa capacité à maintenir « *son intégrité fonctionnelle* » face aux changements de son environnement, c'est-à-dire à s'adapter aux changements en conservant ses propriétés. En référence à ces cadres, **nous étudions le maintien des exploitations de polyculture-élevage en termes de capacité d'adaptation**, c'est-à-dire « *la capacité à résister à un ensemble hétérogène de perturbations sur le moyen terme et à s'inscrire dans une dynamique, un mouvement, qui permette de durer sur le long terme* » (Darnhofer *et al.*, 2010 ; Dedieu 2009). **Nous étudions donc i) les pressions de l'environnement qui influent sur le maintien des exploitations de polyculture-élevage et ii) les capacités adaptatives qui en favorisent la pérennité compte-tenu de ces pressions.**

1.1.3. ... qui intègrent un système technique piloté par un agriculteur.

Le développement des propriétés suscitées au niveau des exploitations implique des adaptations à une échelle infra : le système technique de production. Au sein de l'exploitation de polyculture-élevage, le système technique de polyculture-élevage serait un ensemble d'éléments en interaction dynamique (Figure 2), finalisé par la production de différents biens et services et piloté par l'homme. Dans notre approche, l'organisation et la dynamique du système technique de production sont vues comme la résultante du couplage entre un sous-modèle décisionnel de l'agriculteur et un sous-modèle biotechnique d'élaboration de la production correspondant à la Figure 2 (Gibon et Hermansen, 2006).

Le sous-modèle décisionnel pilote les pratiques agricoles mises en œuvre dans le sous-modèle biotechnique, lui retournant des informations. Appréhender le fonctionnement du système technique de production nécessiterait de prendre en compte i) les pratiques agricoles mises en place par les agriculteurs en conditions réelles pour accéder à leurs logiques et règles de décisions (Landais et Deffontaines, 1988) et ii) les caractéristiques techniques et socio-économiques des exploitations pour en comprendre la diversité (Laurent et Rémy, 2000 ; Osty 1978). **Nous nous basons sur les cadres d'analyse intégrée des systèmes d'élevage (Dedieu *et al.*, 2008 ; Gibon et Hermansen, 2006) et de cultures (Papy, 2001). Dans ce travail, nous parlerons donc de « systèmes de polyculture-élevage » pour désigner des exploitations de polyculture-élevage, vues comme des systèmes au sens de Gibon et Hermansen (2006).**

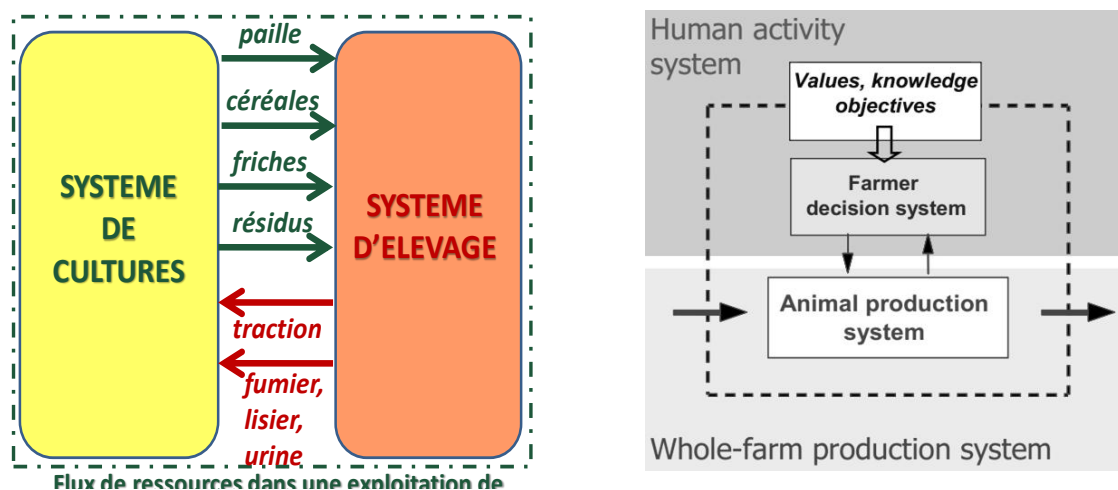


Figure 2: a) Diagramme des flux dans un système technique de polyculture élevage (gauche)
b) Représentation conceptuelle du « système d'élevage » (Gibon et Hermansen, 2006).

Kates et Paris (2005) en sciences de la durabilité considèrent que la recherche se doit de proposer des innovations qui soient légitimes et pertinentes pour les acteurs locaux. Meynard et al. (2012) soulignent d'ailleurs que la recherche sur les systèmes agricoles se doit d'impliquer les acteurs dans les processus d'innovation. **Notre démarche repose donc sur une approche intégrée en partenariat avec les agriculteurs et autres acteurs de l'agriculture**, comme proposé par Gibon *et al.* (1999b).

1.2. Présentation de la démarche

Sur la base des cadres théoriques que nous mobilisons, nous proposons une démarche d'analyse en trois étapes pour éclairer les conditions de maintien des exploitations de polyculture-élevage durables en zones défavorisées européennes (Figure 3).

Quelles sont les conditions de maintien d'exploitations de polyculture-élevage durables en zones défavorisées simples européennes?

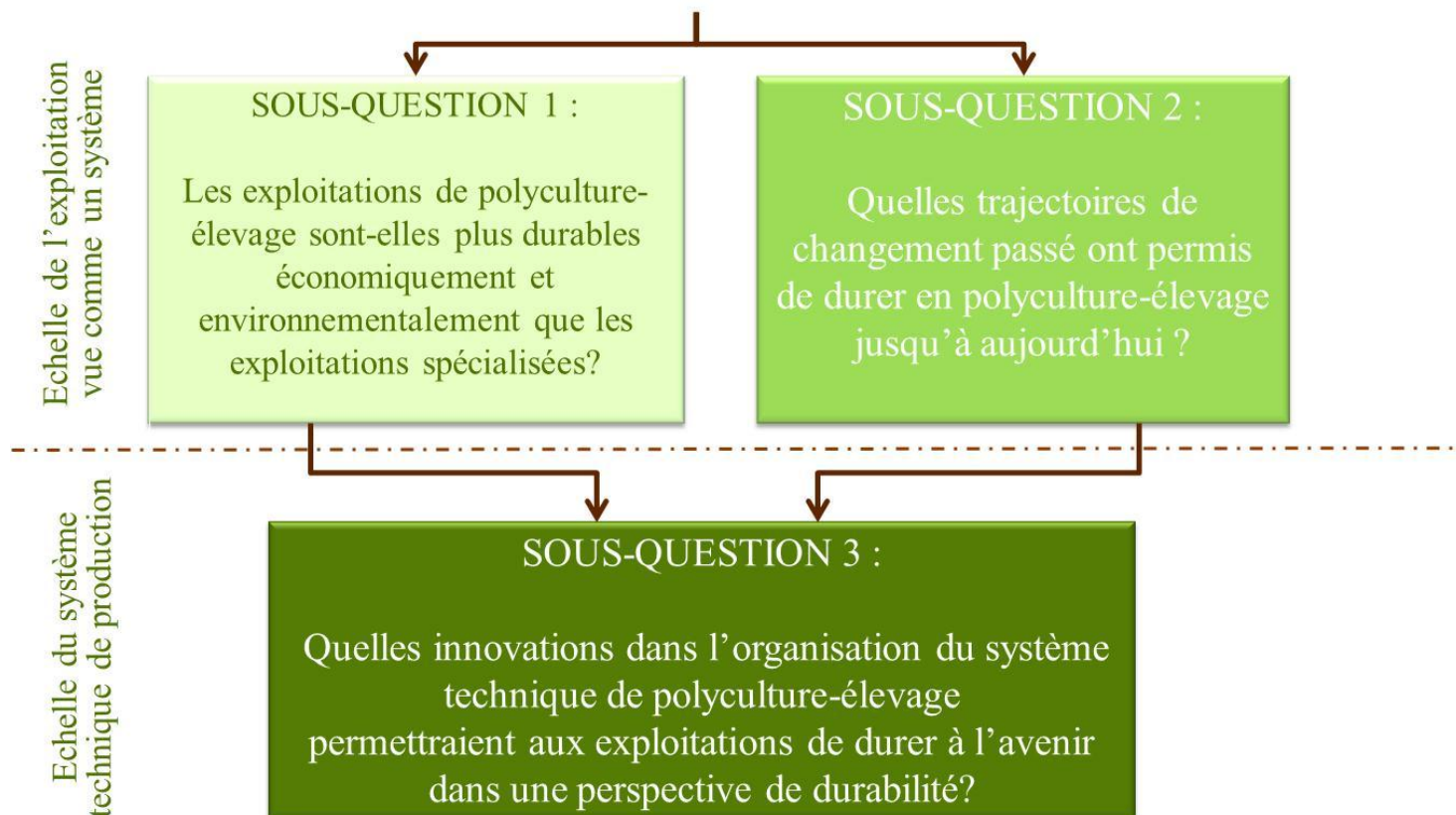


Figure 3: Plan d'ensemble de la démarche de thèse

Sous-question 1

Comme nous l'avons vu dans l'introduction, les exploitations de polyculture-élevage pourraient être une voie pertinente pour une durabilité environnementale et économique. Pour tester cette hypothèse, nous nous sommes demandé :

Les exploitations de polyculture-élevage sont-elles plus durables économiquement et environnementalement que les exploitations spécialisées?

Nous avons choisi de procéder à une évaluation comparative des exploitations de polyculture-élevage et des exploitations spécialisées en conditions réelles, au moyen d'un diagnostic de leurs performances économiques et environnementales⁴. Pour cela, nous adoptons une démarche multicritères pour considérer la structure mais aussi le fonctionnement des exploitations. Nous mobilisons en particulier des indicateurs globaux développés en économie (Veysset *et al.*, 2005) ; et en agronomie sur des approches environnementales (Schiere *et al.*, 2002 ; Simon et Le Corre, 1992 et Simon *et al.*, 2000). Ces approches nous permettront d'élaborer des indicateurs pertinents pour une analyse multicritères des exploitations de polyculture-élevage.

Sous-question 2

Pour comprendre les conditions de maintien des exploitations de polyculture-élevage, il est aussi fondamental d'appréhender leur évolution sur le temps long⁵. Nous faisons dès lors l'hypothèse que les agriculteurs qui se sont maintenus en polyculture-élevage ont développé des capacités adaptatives spécifiques en situation d'incertitude. Nous nous sommes demandé :

Quelles trajectoires de changement passé ont permis de durer en polyculture-élevage jusqu'à aujourd'hui ?

⁴. Nous abordons ici la durabilité selon les trois piliers proposés par Landais (1998) : économique, social et environnemental. Nous faisons ici le choix d'étudier prioritairement les deux premiers piliers pour lesquels les intérêts potentiels des exploitations de polyculture-élevage sont mis en avant.

⁵ Nous considérons ici la durabilité des exploitations de polyculture-élevage au sens de leur pérennité sur le temps long, c'est-à-dire leur capacité à durer, comme le propose Dedieu (2009)

Selon Dedieu (2009), illustrer la diversité des «*chemins*» de l'action sur le long terme en situation d'incertitude permet de voir les tensions qui influent sur la résistance des systèmes aux aléas. Nous étudierons alors les trajectoires passées des exploitations, qui nous permettent d'en caractériser la résilience (Milestad et Darnhofer, 2003). Nous mobiliserons les approches typologiques des trajectoires d'exploitation proposées par Capillon et Manichon (1979) selon lesquels la structure, le fonctionnement et l'évolution des exploitations doivent être prises en compte sur une dimension historique passée pour en appréhender l'avenir. Pour aborder ces changements, nous nous baserons sur les cadres de représentation des changements passés des systèmes d'élevage proposés par Mottet *et al.* (2006) et Moulin *et al.* (2008).

Pour rendre compte de la diversité des «*chemins pour durer*» en polyculture-élevage, nous construirons une typologie. Cette méthode de comparaison permet de simplifier la réalité pour l'interpréter (Cerf *et al.*, 1987). Nous développerons une méthodologie pour extraire ces types à partir de données historiques collectées en enquêtes, comme l'indiquent Dobremez & Bousset (1996) et Rueff *et al.* (2012).

Sous-question 3

Etudier les trajectoires passées des exploitations nous permet d'éclairer des stratégies adaptatives favorables au maintien de la polyculture-élevage (sous-question 2). En accord avec Moulin *et al.* (2008), nous faisons une hypothèse de continuité entre stratégies adaptatives passées et futures. Aussi faisons-nous l'hypothèse que la mise en place, au sein des systèmes techniques, d'innovations⁶ cohérentes avec ces stratégies adaptatives permettrait aux exploitations de polyculture-élevage de se maintenir à l'avenir. Nous nous sommes demandé :

Quelles innovations dans l'organisation du système technique de polyculture-élevage permettraient aux exploitations de durer à l'avenir dans une perspective de durabilité ?

⁶ Nous parlons ici d'innovations comme de processus nouveaux à intégrer au sein des exploitations pour en favoriser la durabilité. A l'instar de Dedieu (2009) et Meynard *et al.* (2012), nous considérons que ces innovations peuvent concerner des options techniques ou organisationnelles favorisant la flexibilité et la réactivité des exploitations pour s'adapter en contexte incertain. Nous ne considérerons-nous pas ici des innovations de rupture mais des innovations en lien avec les stratégies adaptatives des agriculteurs sur le temps long, ainsi plus susceptibles d'être adoptées.

En référence aux cadres des sciences de l'adaptation des systèmes agricoles (Darnhofer *et al.*, 2010 ; Meinke *et al.*, 2009), nous faisons l'hypothèse i) que les « chemins pour durer » des exploitations jusqu'à présent leur ont permis de développer des capacités adaptatives susceptibles de les aider à se maintenir à l'avenir en contexte incertain, ii) que les stratégies adaptatives des agriculteurs constituent une composante importante de ces capacités adaptatives (Dedieu et Ingrand, 2010) et iii) que l'introduction au sein des systèmes techniques d'innovations cohérentes avec ces stratégies peuvent contribuer à leur maintien. Cette voie pourrait permettre d'accroître la flexibilité des exploitations de polyculture-élevage (Chia et Marchenay, 2008 ; Tarondeau, 1999). en jouant sur des ajustements leur permettant i) de s'adapter au mieux au changement, ii) de manière réversible, en gardant la possibilité de revenir à une situation initiale ou intermédiaire selon les fluctuations dans l'environnement (Astigarraga et Ingrand, 2011 ; Ingrand *et al.*, 2007).

Pour proposer des innovations conférant une plus grande flexibilité aux exploitations de polyculture-élevage, notre démarche s'inscrit dans le champ des méthodes qualifiées « d'exploratoires », dont les objectifs généraux sont de stimuler la pensée créative et d'aider à développer des stratégies robustes et flexibles (Börjeson *et al.*, 2006). Les démarches exploratoires visent alors à considérer différents futurs sans entrer dans un déterminisme de ce qui pourrait se réaliser ou non : elles conduisent souvent à des scénarios alternatifs, avec des futurs qui diffèrent largement les uns des autres (van Notten *et al.*, 2003). Ces méthodes permettent l'évaluation prospective d'un ensemble d'éventualités (« que se passerait-il si ... ? »). Elles reposent sur la construction de scénarios dits « externes », quand ils portent sur l'effet sur le système étudié de changements de l'environnement, et « stratégiques » quand ils portent sur l'impact des décisions des acteurs du système (Börjeson *et al.*, 2006). Nous privilégierons des scénarios de type stratégique en ce sens où nous considérerons des innovations internes des systèmes techniques de production au sein des exploitations leur permettant de développer leurs capacités adaptatives.

1.3. Une démarche mise en œuvre sous forme d'étude de cas

1.3.1. Motivations et région d'étude retenue

Lémery *et al.* (2005) ont souligné l'intérêt de concevoir la diversité des solutions et leur mise à l'épreuve dans un contexte local. De plus, la littérature internationale sur la polyculture-élevage fait ressortir i) un manque de cas d'étude réels prenant en compte les

contextes locaux (Entz *et al.*, 2002 ; Thomas, 2002) et ii) un manque d'approche des exploitations de polyculture-élevage au nord (Gibon *et al.*, 2011b).

Notre démarche générale a été appliquée à un cas d'étude réel : les Coteaux de Gascogne, au Sud-Ouest de Toulouse (31) en région Midi-Pyrénées (Figure 4). Il s'agit d'une situation de Zone Défavorisée Simple (ZDS) européenne, où les politiques de modernisation de l'agriculture n'ont pas entraîné une forte spécialisation des exploitations. Les exploitations de polyculture-élevage ont persisté localement : ils correspondent à une tradition locale dans une société rurale organisée en « système à maisons » avec un seul héritier par famille et une logique d'autosubsistance familiale qui s'est traduite par un maintien de la polyculture-élevage (Sourdril, 2008 ; Sourdril *et al.*, 2006). Ce fonctionnement a permis de conserver jusqu'ici des paysages bocagers en mosaïque combinant cultures, prairies et éléments boisés (Sourdril et Ladet, 2008). Le zonage agro-écologique mondial (FAO, 1995) classifie la région comme une zone tempérée avec des sécheresses estivales fréquentes. Ces conditions climatiques alliées à des sols de type argilo-calcaires et de fortes pentes ont induit une dominance de prairies dans la SAU régionale.

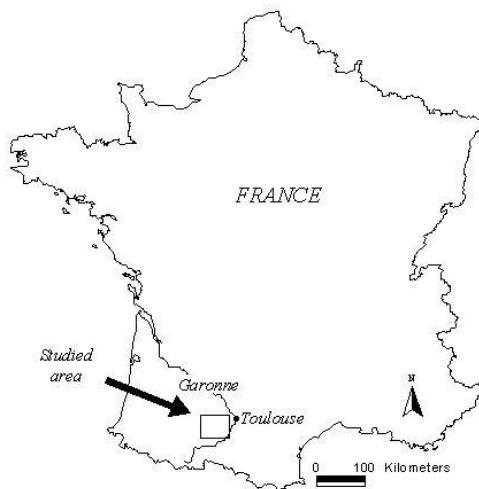


Figure 4: Localisation du site d'étude

1.3.2. Dispositif de recherche existant sur le site d'étude retenu

Le site d'étude retenu est composé de quatre villages ce qui représente 61 exploitations sur environ 4 000 hectares de SAU. Ce site fait partie du réseau ELTER (*European Long-Term Ecological Research*). Un projet de recherche interdisciplinaire – le projet Chapay du programme PSDR3 (*Programme Pour et Sur le Développement Régional co-financé INRA-Région Midi-Pyrénées*) – y a été mis en place en 2008 (Gibon, 2011a). Les relations de long terme entre paysage, agriculture et biodiversité sont étudiées en partenariat avec les acteurs locaux. Ce projet, dans lequel s'intègre la thèse, a permis de consolider un partenariat déjà

existant entre l'INRA UMR Dynafor et les municipalités des quatre communes, l'ACVA (Association Cantonale de Vulgarisation Agricole) d'Aurignac, les agriculteurs du site d'étude et la Chambre Départementale d'Agriculture de Haute-Garonne. La co-construction de l'étude prospective a été réalisée avec un groupe restreint de partenaires formés de deux maires locaux, un conseiller agricole et quinze agriculteurs volontaires, à la tête d'exploitations de polyculture-élevage bovins allaitants – grandes cultures ou spécialisées en élevage bovin ou grandes cultures.

1.3.3. Orientations de la production agricole locale.

Comme le montre la figure 5, l'organisation spatiale des productions agricoles du site d'étude est liée aux contraintes du milieu. Les prairies sont majoritairement situées dans les coteaux en pente, alors que les grandes cultures sont préférentiellement situées dans les vallées, sur les terres drainées et irrigables les plus productives (Choisis et al., 2006 ; Faggion, 2009). Malgré cette localisation plus favorable en vallée, les rendements en cultures sont faibles sur le site d'étude. Pour les productions céréalières, principalement blé tendre, dur ou orge, les rendements moyens sont de l'ordre de 40 à 50 qx/ha. Concernant les oléoprotéagineux, les rendements moyens sont de 15 qx/ha pour le tournesol et de 20 qx/ha pour le colza. Le maïs non irrigué permet de produire environ 40 qx/ha s'il est récolté en grain et 7 tMS/ha en ensilage (Faggion, 2009).

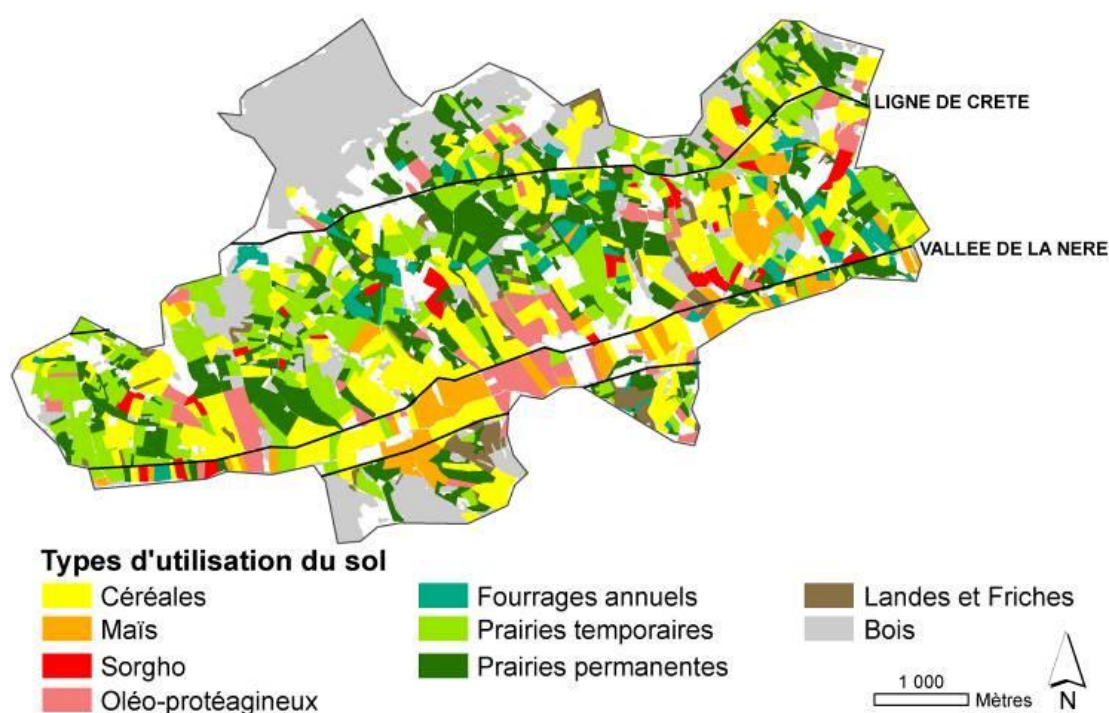


Figure 5: Principaux types d'utilisation du sol en 2006 (Choisis et al., 2010)

Parmi les exploitations du site d'étude, trois types de systèmes de production spécialisés coexistent avec les systèmes de polyculture-élevage : les systèmes spécialisés dans la production de bovins laitiers (BL), dans la production de bovins allaitants (BV) et dans la production de grandes cultures (GC). Les exploitations spécialisées en grandes cultures sont principalement situées en fonds de vallée ; les autres exploitations ont des terres réparties sur tout le territoire. **Un fort maintien des exploitations de polyculture-élevage alliant bovins allaitants et grandes cultures y est observé (47% des exploitations actuelles - Choisis *et al.*, 2010). Nous étudierons en particulier ce type de polyculture-élevage pendant cette thèse.** Les caractéristiques principales des exploitations du cas d'étude sont données dans le Tableau 1. Ce tableau illustre la diversité structurelle importante observable au sein des systèmes de productions sur chaque indicateur.

Tableau 1: Caractéristiques principales des exploitations du site d'étude selon leurs types de systèmes de production (Ryschawy *et al.*, 2012a).

| | <i>Bovin laitier</i> | <i>Bovin allaitant</i> | <i>Grandes cultures</i> | <i>Polyculture-élevage</i> |
|-------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Nombre d'exploitations | 6 (12%) | 12 (25%) | 7 (15%) | 23 (48%) |
| SAU (ha) | | | | |
| - Moyenne \pm écart-type | 93 \pm 52 | 89 \pm 58 | 66 \pm 58 | 118 \pm 82 |
| - Maximum/Minimum | [29 ; 157] | [28 ; 196] | [15 ; 139] | [37 ; 218] |
| SFP (ha) | | | | |
| - Moyenne \pm écart-type | 48 \pm 32 | 77 \pm 53 | 13 \pm 12 | 64 \pm 56 |
| - Minimum/Maximum | [19 ; 97] | [28 ; 180] | [2 ; 34] | [12 ; 127] |
| UTA | | | | |
| - Moyenne \pm écart-type | 2.3 \pm 1,1 | 1.3 \pm 0,6 | 0.5 \pm 0,4 | 1.8 \pm 1,0 |
| - Maximum/Minimum | [1 ; 4] | [1 ; 2] | [0,5 ; 1] | [1 ; 4] |
| Nombre de vaches | | | | |
| - Moyenne \pm écart-type | 48 \pm 20 | 54 \pm 36 | <i>n.a.</i> | 48 \pm 37 |
| - Maximum/Minimum | [20 ; 70] | [20 ; 120] | <i>n.a.</i> | [20 ; 135] |

SAU : Surface Agricole Utile, SFP : Surface Fourragère Principale, UTA : Unité de Travail Agricole
Les exploitations de polyculture-élevage locales allient bovins allaitants et grandes cultures.

Rappelons qu'elles sont définies selon la définition de Seré *et al.* (1996).

*Pour chaque caractéristique, les moyennes \pm écarts-types sont donnés. Pour une description plus précise, les minimum et maximum sont donnés pour chaque indicateur considéré.

1.3.4. Collecte des données

En accord avec Gibon (1999a) et Laurent et Rémy (2000), la méthode cadastrale exhaustive a été appliquée au site d'étude fin 2006-2007: la totalité des ménages ayant une activité agricole et utilisant une parcelle sur le territoire sont considérés. La méthode d'enquête pour l'étude intégrée et spatialement explicite du fonctionnement et des changements socio-techniques des exploitations a été adaptée de Mottet *et al.* (2006). Les données collectées ont porté sur i) la structure des exploitations et ii) les pratiques des agriculteurs. Des données historiques du même type ont été collectées de manière rétrospective de 1950 à 2005. Les données ont été stockées dans une base de données spatialisée, DynafarmCoto®. 56 agriculteurs ont accepté d'être enquêtés parmi les 61 ayant des terres sur le site d'étude (Choisis *et al.*, 2010).

Des données socio-économiques secondaires ont été collectées au niveau municipal, cantonal et régional sur les indicateurs de marchés, politiques agricoles, dynamiques des exploitations et des filières locales (statistiques nationales officielles – Agreste, 2010, rapports scientifiques et techniques en particulier Belland (2011); entretiens d'acteurs locaux dont conseillers agricoles, maires et responsables de coopératives).

Chapitre 2: Evaluation économique et environnementale des systèmes de polyculture-élevage (*Article 2*)

Nous souhaitons étudier les conditions de maintien des exploitations de polyculture-élevage, sous l'hypothèse qu'elles soient une voie pour une durabilité de l'agriculture. Les exploitations de polyculture-élevage sont considérées dans la littérature internationale comme avantageuses par rapport aux systèmes spécialisés pour une durabilité économique et environnementale. Nous avons testé cette hypothèse en conditions réelles.

2.1. Matériel et méthodes

2.1.1. Echantillon considéré et classification des exploitations

Pour apporter des éléments de réponse à la question, nous avons comparé les performances des exploitations de polyculture-élevage à celles des exploitations spécialisées au sein de la population du site d'étude sur la base d'indicateurs économiques et environnementaux. Compte-tenu des données disponibles, 48 exploitations ont été considérées dans cette étude. Nous les avons classées selon les quatre types de systèmes de production contrastés que l'on rencontre dans la région étudiée : bovins laitiers, bovins allaitants, grandes cultures et polyculture-élevage alliant bovins allaitants et grandes cultures. Nous avons ensuite comparé les résultats obtenus à des résultats à l'échelle de la région Midi-Pyrénées, de la France et de l'Europe (RICA, 2007).

2.1.2. Indicateurs économiques mobilisés

Les performances économiques ont été évaluées via :

- i. la Marge Brute Globale de l'exploitation (MBG) par hectare de SAU, très utilisée en économie pour évaluer le potentiel de productivité des exploitations (Veysset *et al.*, 2005).
- ii. les coûts de production (totaux, fertilisants et concentrés), pour comparer les niveaux de consommations d'intrants entre exploitations de polyculture-élevage et spécialisées.
- iii. la sensibilité de la MBG aux fluctuations du prix d'intrants (fertilisants et concentrés) et de produits (viande bovine et blé), pour tester si la diversification permet de réduire les risques économiques en lien avec les fluctuations des prix des principaux intrants et produits.

2.1.3. Indicateurs environnementaux mobilisés

Les performances environnementales ont été évaluées via :

- i. la diversité des occupations du sol à l'échelle de l'exploitation (entre cultures, prairies temporaires et permanentes), pour évaluer la complexité des structures paysagères considérée favorable à la biodiversité animale dans les agro-écosystèmes par Fahrig *et al.* (2011).
- ii. une typologie des pratiques de conduite des cultures, pour préciser l'impact environnemental des pratiques des agriculteurs locaux. Cette typologie a permis de classer les systèmes selon la classification de Schiere *et al.* (2002) : LEIA (Agriculture à faibles intrants), HEIA (Agriculture à forts intrants), considérée comme l'option la moins favorable à l'environnement, et NCA (Agriculture de conservation).
- iii. un bilan apparent de l'azote à l'échelle de l'exploitation, pour évaluer le risque potentiel de pollution azotée des systèmes en lien avec les niveaux de recyclage interne de ce nutriment-clé (Simon *et al.*, 2000). Ce bilan inclut tous les intrants azotés de l'exploitation (fertilisants, aliments, litière, fixation symbiotique par les légumineuses) et les sorties (produits vendus en élevage et cultures, effluents d'élevage)

2.1.4. Analyse des données

Pour synthétiser les résultats, les moyennes et écart-types de chaque indicateur ont été calculés pour chacun des quatre types de système considérés. Les différences entre types de systèmes ont été testées, pour chaque indicateur, par ANOVA. Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R 2.10.1 (R Development Core Team, 2011).

Pour comparer les résultats des systèmes de polyculture-élevage et des systèmes spécialisés, nous avons classé les quatre types de systèmes en fonction de leurs performances moyennes pour chaque indicateur. Le système le plus favorable à chaque indicateur a été classé « 1 », le moins favorable « 4 » ; en cas d'égalité un même classement a été attribué aux systèmes. Pour les indicateurs quantitatifs, le classement a été fait à partir de leurs valeurs. Concernant les types de pratiques sur le système de culture, les systèmes ont été classés en fonction du pourcentage d'exploitations en HEIA, considéré comme l'option la moins favorable à l'environnement. Concernant l'utilisation du sol à l'échelle de l'exploitation, le système avec l'utilisation du sol la plus diversifiée a été classé « 1 ».

Nous avons comparé les classements des exploitations de polyculture-élevage sur le cas d'étude aux classements des exploitations de polyculture-élevage aux échelles régionale,

nationale et européenne. Pour cela, nous avons calculé à chaque échelle considérée et pour chacun des quatre types de systèmes de production les indicateurs économiques et environnementaux calculés sur le cas d'étude. Pour calculer ces indicateurs, nous avons mobilisé les données du RICA (Réseau d'Information Comptable Agricole) pour l'année 2007, année de collecte des données sur le cas d'étude (RICA, 2007). Nous avons ensuite classé chaque système de production à l'échelle régionale, nationale et européenne selon les valeurs des indicateurs obtenus en appliquant la même méthode que sur le cas d'étude.

2.2. Synthèse des résultats

Les résultats de cette étude sont repris ici de manière synthétique. Nous précisons et discutons le classement des systèmes de polyculture-élevage respectivement aux systèmes spécialisés sur chaque indicateur considéré.

2.2.1. La polyculture-élevage locale : un bon compromis environnemental et économique

Selon les indicateurs utilisés dans cette étude, les exploitations de polyculture-élevage semblent constituer un bon compromis environnemental et économique par rapport aux exploitations spécialisées en bovins laitiers ou grandes cultures, dans les conditions du site d'étude. Si les systèmes de polyculture-élevage n'étaient, en effet, jamais l'option la plus favorable, ils n'étaient jamais non plus l'option la moins favorable sur chaque indicateur considéré. Les systèmes spécialisés en bovins allaitants ont les meilleures performances mais sont très sensibles aux fluctuations du prix de la viande. Le tableau 2 synthétise le classement des quatre types de systèmes locaux sur chaque indicateur calculé.

2.2.2. La polyculture-élevage locale minimise les coûts et la sensibilité aux marchés.

Les exploitations de polyculture-élevage locales ne présentent jamais la MBG la plus élevée mais leur plus fort degré d'autonomie leur permet de minimiser les coûts en intrants. Sur le site d'étude, seuls les systèmes bovins allaitants spécialisés présentent des coûts alimentaires et en fertilisants significativement plus faibles que les systèmes de polyculture-élevage car ils maximisent l'utilisation du pâturage (*Tableau 3 – Article 2, p 125*).

Les exploitations de polyculture-élevage sont relativement peu sensibles aux fluctuations du marché des intrants et des produits agricoles considérés, contrairement aux systèmes

spécialisés. Ceci confirme l'hypothèse que la diversité des productions permet aux exploitations de polyculture-élevage de se sécuriser par rapport aux marchés agricoles. Les exploitations de polyculture-élevage peuvent bénéficier occasionnellement d'un prix de vente élevé sur un produit et mais seront moins menacées par des prix très bas.

2.2.3. La polyculture-élevage locale est relativement favorable à l'environnement.

Selon notre typologie des pratiques de conduite du système de cultures, les exploitations de polyculture-élevage sont intermédiaires par rapport aux autres systèmes. La moitié des exploitations de polyculture-élevage sont classées en HEIA (Agriculture à forts intrants), option la moins favorable à l'environnement. Certains types d'exploitations, comme les systèmes bovins allaitants ou grandes cultures, tendent à évoluer vers la NCA (Agriculture de conservation) par des innovations techniques. Les exploitations de polyculture-élevage ont néanmoins la plus grande diversité des utilisations du sol et représentent le plus faible risque de pollution azotée après les exploitations de grandes cultures (Tableau 2). Les résultats de ces deux analyses se trouvent respectivement dans les tableaux 4 et 5 de l'article 2 (p 128).

Tableau 2: Classement des systèmes de production par indicateur mobilisé dans l'étude

| Indicateurs calculés à l'échelle de l'exploitation | Bovin laitier | Bovin allaitant | Grandes cultures | Polyculture re-élevage |
|---|---------------|-----------------|------------------|------------------------|
| MBG - Marge Brute Globale (x1000 €/ha) <i>Différence annuelle entre produits et coûts</i> | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Coûts totaux (€/ha) | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Coûts en fertilisants (€/ha) | 3 | 1 | 2 | 2 |
| Coût alimentaire (€/ha) | 3 | 1 | . | 2 |
| Sensibilité au prix des concentrés (% de la MBG) | 2 | 1 | n.a. | 1 |
| Sensibilité au prix de vente du blé (% de la MBG) | 1 | 1 | 3 | 2 |
| Sensibilité au prix de la viande bovine (% de la MBG) | 1 | 3 | n.a. | 2 |
| Pratiques culturales favorables à l'environnement <i>Plus faible pourcentage d'exploitations en système à forts intrants</i> | 4 | 1 | 2 | 3 |
| Diversité des utilisations du sol <i>Pourcentage de la SAU en grandes cultures, prairies temporaires et permanentes</i> | 1 | 2 | 3 | 1 |
| N _{in} (kgN/ha) <i>Quantité annuelle totale d'intrants azotés</i> | 4 | 1 | 3 | 2 |
| NS – Surplus Azoté (kgN/ha) <i>Différence annuelle entre entrées et sorties d'azote</i> | 3 | 2 | 1 | 2 |

Le classement "1" correspond au système de production le plus favorable selon chaque indicateur.

2.2.4. La polyculture-élevage : une option intéressante à des échelles plus larges

Lorsqu'on compare les résultats obtenus localement à ceux des exploitations du RICA à l'échelle de la région Midi-Pyrénées, la polyculture-élevage est un bon compromis concernant la MBG par hectare (2nde), mais les MBG par hectare moyennes sont significativement plus élevées sur notre site d'étude. Les exploitations de polyculture-élevage régionales ont des coûts totaux élevés (2nd) en lien avec des achats élevés d'aliments et de fertilisants. Le niveau d'autonomie intra-exploitation apparaît ainsi moins élevé à l'échelle régionale que sur le site d'étude. Les exploitations de polyculture-élevage régionales présentent les occupations du sol les plus diversifiées à l'échelle de l'exploitation mais un risque potentiel de pollution azotée plus important que les systèmes spécialisés en bovins allaitants ou en grandes cultures.

La comparaison des résultats locaux à ceux des exploitations du RICA aux échelles françaises et européennes a permis de confirmer les intérêts environnementaux de la polyculture-élevage mais pas les intérêts économiques. A l'échelle nationale, les exploitations de polyculture-élevage du RICA sont moins efficaces économiquement que celles du site d'étude. Les exploitations de polyculture-élevage présentent la MBG la plus faible et les coûts en fertilisants les plus élevés. Les coûts alimentaires sont limités grâce à un certain niveau d'autonomie fourragère des exploitations. Les exploitations de polyculture-élevage ont néanmoins les mêmes intérêts environnementaux à l'échelle nationale que sur le site d'étude : les occupations du sol les plus diversifiées et un potentiel de pollution azotée placé en deuxième position après les systèmes grandes cultures.

Selon l'évaluation faite à l'échelle européenne à partir du RICA, les systèmes de polyculture-élevage présentent la MBG par hectare la plus faible. Comme sur notre site d'étude, elles minimisent l'utilisation d'intrants et ont les coûts les plus faibles en fertilisants et alimentation animale. A l'échelle européenne, les exploitations de polyculture-élevage ont les occupations du sol les plus diversifiées, alors que les exploitations spécialisées en élevage bovin laitier ou allaitant ont principalement des prairies et les exploitations spécialisées en grandes cultures seulement des surfaces assolées. Les exploitations de polyculture-élevage européennes sont intermédiaires concernant le risque potentiel de pollution en azote : avec un risque plus élevé que les exploitations spécialisées en grandes cultures mais moindre que les systèmes d'élevage bovin spécialisés.

2.3. Discussion

2.3.1. Des résultats en accord avec la littérature internationale

L'évaluation réalisée a en effet permis de montrer que la polyculture-élevage était localement un bon compromis par rapport aux exploitations spécialisées sur les dimensions économique et environnementale. En effet, sur chacune des deux dimensions, les systèmes de polyculture-élevage ne sont jamais les plus efficaces, ni les moins efficaces.

Sur la dimension économique, la polyculture-élevage du site d'étude permet aux exploitations d'avoir une plus grande autonomie et ainsi de limiter leur sensibilité aux fluctuations de prix des intrants et des produits agricoles vendus (Vermersch, 2007). Ces résultats sont en accord avec la littérature (Hendrickson *et al.*, 2008b; Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008). En effet, les exploitations de polyculture-élevage minimisent les intrants grâce aux synergies établies entre élevage et cultures, en particulier sur l'alimentation et la fertilisation (Russelle *et al.*, 2007 ; Wilkins, 2008).

Sur la dimension environnementale, les exploitations de polyculture-élevage ont la plus grande hétérogénéité des utilisations du sol, ce qui est connu pour favoriser la biodiversité, en particulier chez les oiseaux et insectes (Fahrig *et al.*, 2011). De plus, les systèmes de polyculture-élevage présentent un risque de pollution azotée moindre que les systèmes d'élevage spécialisés dans la zone d'étude. Ces résultats sont en accord avec Russelle *et al.* (2007) et Schiere et Kater (2001). Le recyclage des déjections animales est par exemple un moyen de limiter les intrants extérieurs en favorisant l'autonomie de l'exploitation (Schiere *et al.*, 2002).

2.3.2. Impact des potentialités du territoire sur les résultats économiques des exploitations

Les intérêts économiques identifiés sur le cas d'étude n'ont pas toujours été confirmés à des échelles plus larges. La localisation du système de production est un élément-clé pour expliquer cela (Kruska *et al.*, 2003). La diversité des systèmes de production est en effet liée aux caractéristiques pédo-climatiques et historiques spécifiques à chaque petite région (Cochet et Devienne, 2006). La région Midi-Pyrénées est hétérogène et se compose de trois petites régions. Les cultures de vente sont localisées dans des zones arables ; les systèmes d'élevage de petite taille en zone de montagne. Notre cas d'étude est situé dans le troisième type de petite région : en zone défavorisée où l'intensification de la production a été possible mais limitée par les conditions pédoclimatiques. La localisation du site d'étude pourrait donc

partiellement expliquer les différences de résultats économiques par rapport à l'échelle régionale. Cette analyse peut être transposée aux échelles nationale et européenne, les systèmes de polyculture-élevage étant maintenus principalement en zones défavorisées. Leurs avantages potentiels seraient alors souvent méconnus puisqu'ils ne peuvent pas y obtenir d'aussi bons résultats que les exploitations situées en contexte pédoclimatiques favorables.

2.3.3. Une diversité des systèmes de polyculture-élevage à l'échelle locale qui appelle un approfondissement du diagnostic

Une variabilité de performances économiques et environnementales a été observée au sein des systèmes de polyculture-élevage du site d'étude, bien que tous allient bovins allaitants et grandes cultures. Pour chaque indicateur considéré, la variabilité entre les exploitations de polyculture-élevage était aussi importante que la variabilité par rapport aux autres systèmes de production considérés. L'étude de la population exhaustive des exploitations de la zone d'étude a permis de mettre en lumière cette forte variabilité, qui peut être liée à une certaine diversité de pratiques parmi les agriculteurs en polyculture-élevage. Notre typologie des pratiques sur le système de cultures a en particulier montré une très forte hétérogénéité des pratiques au sein des systèmes techniques de polyculture-élevage. D'autres études ont montré une forte variabilité des pratiques des agriculteurs au sein d'un même type de système de production (Joannon *et al.*, 2008). Landais et Deffontaines (1988) ont aussi montré que derrière la mobilisation d'une même technique agricole, différentes mises en œuvre sont possibles et donc différentes conséquences sur le fonctionnement des systèmes.

Les avantages potentiels de la polyculture-élevage ne se vérifieraient qu'à la condition d'une coordination effective entre élevage et cultures, avec une utilisation des productions d'un atelier comme intrants pour l'autre (Hendrickson *et al.*, 2008a). Certains systèmes dits de polyculture-élevage peuvent se limiter à la juxtaposition de deux ateliers intensifs distincts (Schiere *et al.*, 2002). Ces systèmes sont intégrés à la définition proposée par Seré *et al.* (1996)⁷ mais ne répondent cependant pas à des objectifs de durabilité environnementale de recyclage des nutriments tels qu'exprimés dans la littérature. Ainsi, la classification des systèmes utilisée dans cette étude ne tient pas compte du degré de coordination entre les ateliers, qui pourrait en partie expliquer cette variabilité. Des systèmes d'élevage spécialisés

⁷ « système d'élevage dans lequel au moins 10% de la production totale provenait d'activités autres que l'élevage et au moins 10% des co-produits de cultures étaient utilisés pour l'alimentation animale » (Seré *et al.*, 1996).

en bovin laitier ou allaitant sont exclus de cette classification, même s'ils produisent des cultures pour l'alimentation animale. Economiquement, ces systèmes ne bénéficient certes pas des mêmes intérêts que les systèmes de polyculture-élevage. D'un point de vue agronomique néanmoins, certains de ces systèmes d'élevage fonctionnent de la même manière que des systèmes de polyculture-élevage : les agriculteurs peuvent avoir les mêmes objectifs, comme par exemple de maximiser l'autonomie de l'exploitation (Russelle *et al.*, 2007).

Il apparaît donc fondamental de se réinterroger sur la définition et les bases du diagnostic des systèmes de polyculture-élevage pour évaluer leur intérêt pour la durabilité de l'agriculture en zones défavorisées. Pour cela, il apparaît nécessaire de considérer plus en détail le fonctionnement des exploitations et les stratégies de gestion des agriculteurs.

Synthèse du chapitre:

Les exploitations de polyculture-élevage locaux sont un bon compromis pour une durabilité environnementale et économique, par rapport aux exploitations spécialisées en bovins laitiers ou grandes cultures. Les exploitations spécialisées en bovins allaitants sont aussi très performant bien que sensibles aux fluctuations du prix de la viande. L'hétérogénéité des utilisations du sol et le bilan annuel de l'azote en démontrent des intérêts environnementaux. La diversification des débouchés et l'autonomie leur confèrent une sécurisation économique en cas de fluctuation du marché.

Le maintien des exploitations de polyculture-élevage est observé dans des zones défavorisées, où le contexte pédoclimatique se prête peu à la spécialisation et à l'intensification. Un potentiel de production agricole moindre dans ces zones défavorisées explique des intérêts économiques moins importants que les intérêts potentiels.

La variabilité entre les exploitations de polyculture-élevage observée sur chaque indicateur montre une certaine diversité dans le fonctionnement actuel des systèmes de polyculture-élevage. Pour expliquer cette diversité, il apparaît nécessaire de ne pas se limiter à la connaissance de la structure de l'exploitation mais d'en comprendre le fonctionnement et l'évolution au sens de Thompson et Nardone (1999). Nous proposons dans le chapitre suivant:

- i. D'adopter une vision systémique qui ne se réduit pas au calcul d'indicateurs, comme suggéré par Gibon *et al.* (1999b) ou Dedieu *et al.* (2008)
- ii. De comprendre quels chemins ont conduit à une telle diversité de systèmes de polyculture-élevage.

Chapitre 3: Les trajectoires conduisant au maintien d'exploitations de polyculture-élevage (*Article 3*)

Pour mieux appréhender la diversité des exploitations du site d'étude et de leurs systèmes de production, nous avons souhaité identifier et analyser la diversité de leurs chemins d'évolution. Nous avons fait l'hypothèse que ces exploitations ont perduré en raison des capacités adaptatives dont elles ont fait preuve face aux situations d'incertitude passées. Pour tester cette hypothèse, nous avons analysé les trajectoires d'évolution des exploitations du cas d'étude en nous interrogeant sur les réorganisations mises en œuvre par le passé.

3.1. Matériel et méthodes

Nous avons mis en place une méthode d'étude des trajectoires passées des exploitations en deux étapes. Nous avons, tout d'abord, réalisé une analyse visuelle des trajectoires des 50 exploitations pour lesquelles les données historiques collectées étaient suffisantes. Pour cela, nous avons construit une méthode d'analyse graphique des trajectoires individuelles (Cf. Figure 6). L'analyse a été réalisée sur la période 1950- 2005. En 1950, ces exploitations étaient toutes de polyculture-élevage. Nous avons divisé la période en six pas de temps de 10 ans. Nous avons sélectionné un ensemble de 30 indicateurs de structure et de fonctionnement que nous avons classés en 6 catégories principales: les terres, les productions animales et effectifs, les productions végétales, le collectif de travail et les investissements dans les bâtiments et aménagements. Parmi les 30 indicateurs retenus, certains n'étaient pas discriminants comme la présence de prairies permanentes, que l'on trouve dans toutes les exploitations. La comparaison des graphiques individuels des 50 trajectoires nous a permis de sélectionner 20 variables pouvant rendre compte des différences d'évolution entre ces exploitations (Tableau 3). Sur la base de ces 20 variables, nous avons effectué, dans une seconde étape, une typologie de trajectoires à l'aide d'analyses multivariées selon une méthode adaptée de Gibon *et al.* (1999a).

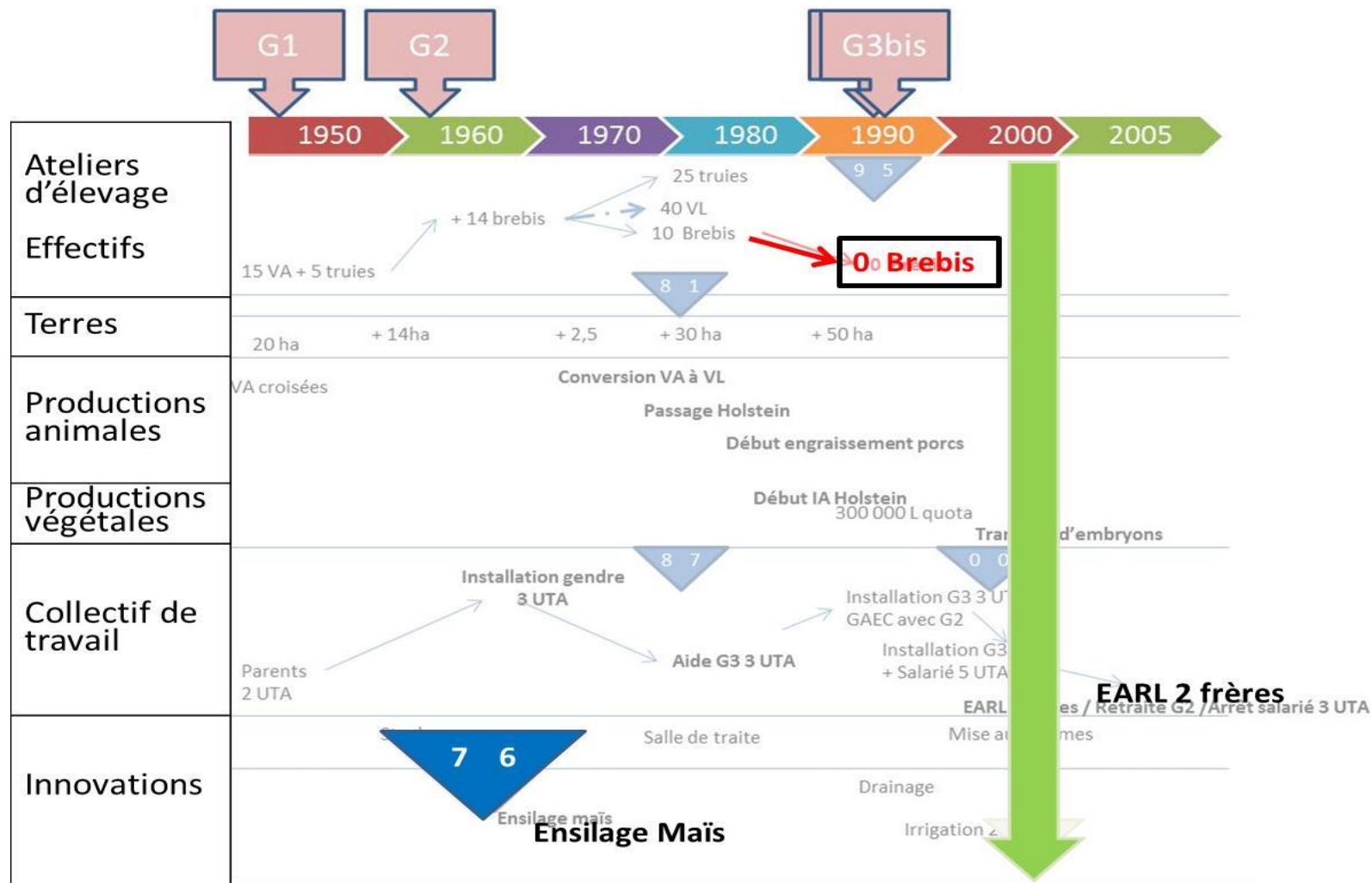


Figure 6: Exemple anonymisé de représentation graphique individuelle d'une trajectoire d'exploitation.

Les évènements sont présentés par décennie de 1950 à 2005 et classés selon cinq catégories principales. Des flèches permettent d'indiquer l'évolution des variables quantitatives. Des triangles roses indiquent l'arrivée des différentes générations d'agriculteurs. Des triangles bleus marquent les évènements les plus marquants selon l'agriculteur ; une flèche verte indique un évènement ayant induit une modification marquante du fonctionnement du système.

Par respect de l'anonymat de l'agriculteur enquêté, les données ont été modifiées dans cet exemple (dates, valeurs numériques, ...)

Tableau 3: Variables retenues pour décrire les trajectoires individuelles des exploitations

| Catégorie | Indicateur de | Variable utilisée par decennia | Type |
|-----------------------|--|---|--------------|
| Terres | Taille totale de l'exploitation | Surface Agricole Utile (SAU) | Quantitative |
| | Type de mode de faire-valoir | Pourcentage de la SAU en fermage | Quantitative |
| Collectif de travail | Taille du collectif de travail | Nombre d'Unités de Travail Agricole (UTA) | Quantitative |
| | Changement de generation d'agriculteurs | Arrivée d'une nouvelle génération | Qualitative |
| | Nombres de generations travaillant conjointement | Nombre de générations en activité | Quantitative |
| Ateliers | Atelier de production de bovins allaitants | Présence de bovins allaitants | Qualitative |
| | Atelier de production laitière | Présence de bovins laitiers | Qualitative |
| | Cultures de vente | Présence de cultures de vente | Qualitative |
| | Diversification de l'exploitation | Nombre d'ateliers | Quantitative |
| Productions animaux | Taille du troupeau bovin | Nombre de meres dans le troupeau bovin | Quantitative |
| | Innovation pour l'alimentation animale | Utilisation d'ensilage de maïs | Qualitative |
| | Orientation de l'atelier bovin | Race principale du troupeau bovin | Qualitative |
| Productions végétales | Intensification des pratiques culturales | Présence de maïs pour la vente | Qualitative |
| | Innovation dans la gestion des prairies | Présence d'ensilage d'herbe | Qualitative |
| | Utilisation de prairies temporaires | Présence de prairies temporaires | Qualitative |
| | Adoption de cultures innovantes | Adoption de soja ou tournesol | Qualitative |
| Investissements | Aménagement des terres | Réalisation du drainage | Qualitative |
| | Investissements pour les cultures | Utilisation de l'irrigation | Qualitative |
| | Investissements pour les troupeaux | Nombre de bâtiments construits | Quantitative |
| | Investissements totaux | Réalisation d'investissements | Qualitative |

En nous fondant sur la méthode proposée par Doledec et Chessel (1987) pour l'étude de phénomènes temporels sur plusieurs sites, nous avons organisé les 20 variables dans une matrice *Z* avec pour chacune des variables (20 variables), sa valeur par exploitation (50 exploitations) et par période (6 périodes). Nous avons décomposé la variance de cette matrice selon la méthode statistique de Hill et Smith (1976) qui permet de considérer conjointement des données quantitatives et qualitatives dans un tableau. Cette méthode nous a permis d'analyser la variance de la matrice *Z* selon trois axes : les dates, les exploitations et leurs interactions. Parmi les six tableaux obtenus lors de cette opération, un tableau synthétise les différences entre exploitations une fois l'effet moyen de la date enlevé. Ce tableau a été utilisé pour élaborer la typologie de trajectoires par Classification Ascendante Hiérarchique. Le calcul de moyenne et écart-type pour chaque variable quantitative a permis de décrire les différents types de trajectoires obtenus. Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R 2.10.1 (R Development Core Team, 2011).

Nous avons ensuite caractérisé les facteurs de l'environnement des exploitations à l'origine des changements observés. Cette analyse a été conduite en partenariat lors d'une réunion collective de discussion de la typologie de trajectoires. 12 entretiens individuels ont aussi permis de soumettre notre typologie aux agriculteurs locaux. Pour évaluer les types de trajectoires ayant permis le maintien effectif de la polyculture-élevage, nous avons croisé notre typologie avec les types de systèmes de production en 2012.

3.2. Synthèse des résultats

3.2.1. Cinq types de « chemins pour durer » localement

Les quatre premiers facteurs de l'ACP ont permis d'expliquer 63, % de la variabilité entre trajectoires. Le facteur 1 (*intensification*), qui explique 21,1% de la variabilité, correspond à un gradient depuis des pratiques traditionnelles à faibles intrants à une intensification des pratiques. Le facteur 2 (*orientation bovine*), qui explique 16,5% de la variabilité, correspond à un gradient qualifiant le choix d'orientation de l'élevage bovin vers la production laitière ou la production allaitante. Le facteur 3 (*modèle familial*), qui explique 15,1% de la variabilité, correspond à un gradient allant d'une organisation familiale en cellule souche à une organisation nucléaire. Le facteur 4 (*type d'utilisation du sol*), qui explique 10,4% de la variabilité, correspond à un gradient d'utilisation du sol majoritairement en prairies à une majorité de cultures de vente.

Localement, les agriculteurs ont trouvé cinq types de « chemins pour durer » dans un même contexte (Figure 7).

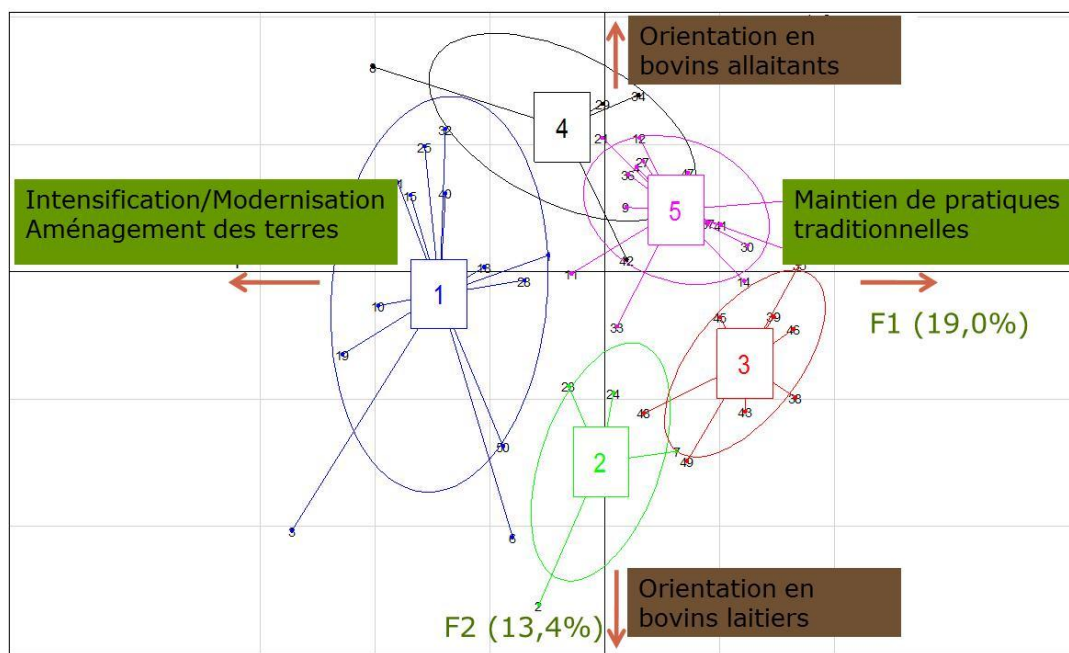


Figure 7: Résultats de la classification des trajectoires en lien avec les deux premiers facteurs les discriminant.

Le Facteur 1, qui explique 21, 1% de la variabilité, correspond à un gradient depuis des pratiques traditionnelles à une intensification des pratiques. Le Facteur 2, qui explique 16,5% de la variabilité, correspond à un gradient d'orientation de l'élevage ver les bovins laitiers ou allaitants.

Le premier chemin consistait en la maximisation de l'autonomie par la coordination forte entre cultures et élevage au sein de l'exploitation. Dans le type 1, pour durer « *on n'est jamais mieux servi que par soi-même* ». Le deuxième type était basé sur l'agrandissement et l'investissement dans la technologie en lien avec des économies d'échelles, il a conduit au développement d'exploitations laitières spécialisées. Dans le type 2, pour durer « *qui ne tente rien, n'a rien.* ». Le troisième type reposait sur une diversification des ateliers de production pour bénéficier d'économies de gamme et se sécuriser par rapport aux fluctuations du marché des intrants mais aussi des produits agricoles. Dans le type 3, pour durer « *il ne faut pas mettre tous ses œufs dans le même panier* ». Le quatrième type était basé sur l'agrandissement et des économies d'échelle. Dans le type 4, pour durer « *abondance de biens ne nuit point* ». Le cinquième et dernier type reposait plutôt sur des adaptations progressives de l'exploitation à la main d'œuvre familiale disponible. Dans le type 5, pour durer « *l'union fait la force* ». Ainsi, dans ce type 5, la disponibilité en main d'œuvre familiale a fortement conditionné les trajectoires passées. On y a d'ailleurs distingué deux sous-types : le sous-type 5_1 dans lequel

la main d'œuvre disponible a permis le maintien d'exploitations et le sous-type 5_2 dans lequel le manque de main d'œuvre familiale a conduit à la cessation d'activité. Les descriptions chiffrées et détaillées des cinq types de trajectoires sont disponibles dans le tableau 3 de l'Article 3 (p 149).

Le croisement de ces types de trajectoires avec le nombre d'exploitations encore en polyculture-élevage en 2012 nous a permis de considérer que quatre types pouvaient permettre le maintien de la polyculture-élevage. Seul un chemin exclut la polyculture-élevage : le type 2 qui a plutôt conduit à la spécialisation et à l'intensification en production laitière. Dans le type 1, quatre exploitations sur 13 ont maintenu la polyculture-élevage (31%) ; dans le type 3, trois exploitations sur huit (38%). Le maintien de la polyculture-élevage dans les types de trajectoires 4 et 5_1 est largement conditionné par la disponibilité en main d'œuvre familiale. Dans le type 4, deux exploitations sur six sont encore en polyculture-élevage actuellement (33%) ; dans le type 5_1, quatre exploitations sur dix (40%).

3.2.2. Des facteurs de contexte ont influé sur le maintien de la polyculture-élevage

Les incitations à la production de la PAC ainsi que la baisse tendancielle du prix des produits agricoles en lien avec la mondialisation du marché et une main d'œuvre agricole en diminution ont été identifiées comme les principaux facteurs de changement qui ont favorisé le processus de spécialisation (Tableau 4). Certaines orientations politiques comme le développement des aides du second pilier de la PAC pour favoriser le maintien de surfaces en prairies ont néanmoins pu limiter l'abandon de l'élevage bovin et favoriser ainsi indirectement la polyculture-élevage. Les fluctuations de marché favorisent aussi les exploitations de polyculture-élevage, qui y sont moins sensibles que les exploitations spécialisées (Cf. chapitre 2)

Tableau 4: Facteurs de contexte impliqués dans le maintien de la polyculture-élevage

| Groupes de facteurs | Economie et politiques | | | | Structure d'exploitation | Localisation régionale |
|--|---|---|----------------|-------------------------------|--------------------------|---|
| | <i>Facteurs de changement impliqués</i> | <i>Mondialisation des marchés agricoles</i> | | <i>Orientations de la PAC</i> | | <i>Diminution de la main d'œuvre agricole</i> |
| Prix bas des produits | | Fluctuations des prix | Aides couplées | Second pilier | | |
| Impacts sur le maintien de la polyculture-élevage | - | + | - | + | - | + |

La diversité des trajectoires observées est aussi en partie liée à des différences de structures entre les exploitations en 1950. Certaines exploitations avaient des parcelles avec un plus fort potentiel à la modernisation, d'autres avaient une majorité de terres en pente et non mécanisables. Les exploitations du type 5 qui ont peu innové et choisi l'adaptation progressive de leur exploitation ont une majorité de terres en coteaux. La structure des exploitations a donc pu avoir une relative influence dans les évolutions des orientations des exploitations tout au long de leurs trajectoires.

3.3. Discussion

3.3.1. Une diversité locale de « chemins pour durer » en polyculture-élevage

Notre analyse a permis de mieux comprendre les facteurs de durabilité et de transformation des systèmes de polyculture-élevage dans un même contexte local. Nous avons vérifié que les deux facteurs majeurs qui ont marginalisé les exploitations de polyculture-élevage en Europe ont joué un rôle localement. Le développement agricole européen, via les aides couplées de la PAC et la pression des marchés mondialisés, ont incité à la spécialisation et à l'agrandissement des exploitations agricoles pour réaliser des économies d'échelles. Les primes à la production de céréales, relayées par les primes à la surface SCOP (Surface Céréales Oléo-Protéagineux) ainsi que les primes au drainage et à l'irrigation ont incité en particulier à la spécialisation en grandes cultures et à l'arrêt de l'élevage (Gagné et al., 2012). Les systèmes de polyculture-élevage, basés sur le concept d'économies de gamme (Vermersch, 2007) se sont trouvés défavorisés par ces orientations. La polyculture-élevage a toutefois continué à avoir la préférence d'une partie non négligeable des agriculteurs locaux, en lien avec les particularités culturelles des sociétés locales dites « à maisons », basées sur une polyculture-élevage d'autosubsistance traditionnelle et familiale avec un seul héritier (Sourdril, 2008). Ce type de fonctionnement a joué en défaveur du maintien de systèmes de polyculture-élevage, en lien avec le second principal facteur de marginalisation : la démographie agricole qui a limité la main d'œuvre disponible, en particulier au cours de la période récente. L'emploi d'une main d'œuvre uniquement familiale alors que la conduite conjointe d'ateliers diversifiés nécessite une main d'œuvre importante a limité le maintien de la polyculture-élevage. Ce manque tendanciel de main d'œuvre agricole a plus largement poussé à la simplification des pratiques, couplée à l'éventuelle recherche d'un revenu complémentaire à l'extérieur de l'exploitation.

Cette étude permet aussi d'éclairer la diversité actuelle des systèmes de polyculture-élevage : les différents « chemins pour durer » ont conduit à différents types de polyculture-élevage (Choisis *et al.*, 2012). Parmi les cinq types de trajectoires éclairés, quatre ont permis le maintien d'exploitations de polyculture-élevage. Considérant l'incertitude du contexte politique et économique actuel, deux types de stratégies adaptatives semblent plus favorables au maintien d'exploitations de polyculture-élevage en contexte incertain. Les chemins « maximisation de l'autonomie » et « diversification » semblent en effet moins sensibles à ces variations de contexte.

3.3.2. Des stratégies adaptatives locales en partie comparables à celles d'autres régions

Lémery *et al.* (2005) ont mené une étude des comportements adaptatifs des agriculteurs en zone de plaine (Bourgogne), qui a mis en évidence des stratégies adaptatives dont certaines peuvent être rapprochées de celles des agriculteurs de notre zone d'étude. Sous une tendance « agir sur », ils ont identifié deux chemins : « *Efficiencetechnique via l'optimisation et l'investissement dans le collectif* » et « *s'agrandir* », qui correspondent respectivement à nos types 2 et 4. Sous une seconde tendance « faire avec », ils en ont identifié deux autres : « *rester autonome* » et « *diversifier avec d'autres activités* », qui correspondent respectivement à nos types 1 et 5_1. Seul le type 3, qui consiste à diversifier les productions de l'exploitation n'a pas été identifié car il est spécifique d'une polyculture-élevage locale.

Garcia-Martinez *et al.* (2008) ont aussi trouvé des types de trajectoires comparables entre 1990 et 2004 en zone défavorisée de montagne (Pyrénées espagnoles). Une tendance d'évolution qualifiée « *d'équilibre structurel* » correspondrait à nos types 1 et 3, cette tendance présentait une relative stabilité de la structure des exploitations sur la période. La tendance « *fort agrandissement* » correspondrait à nos types 2 et 4, avec de larges augmentations de SAU et de taille du troupeau depuis 1990. Le type 5 n'avait pas d'équivalence dans cette étude.

Rueff *et al.* (2012) ont aussi analysé des trajectoires d'exploitation en zone défavorisée de montagne (Pyrénées françaises). Ils ont identifié un type de trajectoire fondé sur une stratégie de gestion « *patrimoniale* » de biens agricoles familiaux correspondant à notre type 3, un système à maisons basé sur le maintien traditionnel d'activités agricoles diversifiées. Le type de trajectoire découlant d'une stratégie de « *retrait* » correspond à notre sous-type 5_2. Sur notre cas d'étude, le type de trajectoires correspondant à une stratégie de « *niche* », fondée sur la mise en place de valorisation de type touristique, n'existe pas, en lien avec le

peu d'opportunités touristiques de la zone. Les stratégies adaptatives mises en évidence sont donc comparables aux résultats obtenus dans d'autres régions.

3.3.3. Limites et principaux intérêts de l'étude des trajectoires de changements passés

Comme Gibon *et al.* (2010), nous avons choisi d'étudier les trajectoires de changement des exploitations depuis 1950 pour des raisons scientifiques et méthodologiques. La modernisation des exploitations européennes a débuté en 1950 : les trajectoires ont donc connu des inflexions majeures à partir de cette période (Antrop, 2005). Cinquante ans est aussi la limite de la mémoire humaine pour la collecte rétrospective de données (Cialdella *et al.*, 2009 ; Mottet *et al.*, 2006); les données sont souvent limitées à la précision de l'information obtenue pendant les entretiens. Par exemple, les agriculteurs se souvenaient de la présence ou non de maïs sur une décennie passée, mais pas de la surface. Les agriculteurs donnent une vision reconstruite du passé, même s'ils essaient d'être objectifs (Lamine et Bellon, 2008). L'expérience modifie l'interprétation des faits (Cialdella *et al.*, 2009).

Nous avons accordé de l'importance à l'interprétation des données par les agriculteurs, qui font néanmoins preuve d'une inévitable subjectivité. Les méthodes d'analyses statistiques informatisées nous ont permis de limiter cette subjectivité dans notre étude (Mulaik, 1993). L'analyse statistique a été choisie sur la base de considérations conceptuelles et empiriques. Les discussions avec les partenaires locaux nous ont permis de préciser notre interprétation des types de trajectoires obtenus et de confirmer les tendances que nous avons identifiées. Cette étude illustre l'intérêt d'une collaboration avec les acteurs locaux (Gibon *et al.*, 1999b et 2010). La collaboration entre acteurs locaux et chercheurs est bénéfique pour les deux parties : elle permet une meilleure compréhension des changements (ComMod, 2005).

Comme l'ont souligné Moulin *et al.*, 2008, l'étude de trajectoires passées des exploitations est un matériau précieux pour la compréhension des stratégies adaptatives des agriculteurs, mises en place sur le temps long (hypothèse de continuité). La dimension historique est fondamentale pour appréhender l'évolution des exploitations et doit aussi servir de base pour l'avenir (Capillon *et al.*, 1975). Van der Ploeg *et al.* (2009) ont d'ailleurs montré que certaines petites exploitations pouvaient durer en opposition à l'idée que toutes les exploitations qui ne remplissaient pas les exigences du modèle de modernisation allaient disparaître en quelques années. Les « chemins pour durer » des exploitations jusqu'à présent leur auraient en effet permis de développer des capacités adaptatives susceptibles de les aider à se maintenir à l'avenir, en contexte incertain (Darnhofer *et al.*, 2010 ; Meinke *et al.*, 2009).

Scoones (2009) souligne le besoin urgent d'élaborer de nouveaux outils pour enrichir ce type d'approches, nécessaires pour aborder les questions complexes du développement rural.

Synthèse du chapitre :

Les incitations à la production de la PAC, les prix agricoles bas du marché mondial alliés à une diminution de la main d'œuvre agricole disponible ont largement marginalisé les systèmes de polyculture-élevage en Europe, en favorisant le processus de spécialisation. Néanmoins, dans la région étudiée, les valeurs et les choix des agriculteurs ont permis le maintien d'exploitations de polyculture-élevage.

Notre typologie a mis en lumière cinq types de trajectoires des exploitations sur le site d'étude. Parmi ceux-ci, quatre « chemins pour durer » ont permis le maintien d'exploitations de polyculture-élevage. Le premier type a reposé sur une stratégie adaptative où les agriculteurs cherchent à maximiser l'autonomie de l'exploitation par une coordination forte entre cultures et élevage au sein de l'exploitation. Le second type consistait en une diversification des ateliers de production pour bénéficier d'économies de gamme et se sécuriser par rapport aux fluctuations du marché des intrants mais aussi des produits agricoles. Les deux autres types de chemins conduisant à la polyculture-élevage étaient basés sur l'agrandissement et des économies d'échelle pour l'un, sur des adaptations progressives de l'exploitation à la main d'œuvre familiale disponible pour l'autre. Le maintien de la polyculture-élevage dans ces deux derniers types de trajectoires est largement conditionné par la disponibilité en main d'œuvre familiale.

Compte-tenu de l'incertitude du contexte actuel, deux chemins semblent plus favorables au maintien de systèmes de polyculture-élevage s'inscrivant dans une agriculture durable : « *Autonomie* » (type 1) et « *Diversification* » (type 3). Nous faisons l'hypothèse que les stratégies d'adaptation futures des agriculteurs seront en continuité avec les chemins passés favorables au maintien des systèmes de polyculture-élevage (Moulin et al., 2008). Ces résultats sont donc une première étape, servant de base à une étude prospective qui permettra de proposer des innovations en lien avec :

- i. les stratégies adaptatives des agriculteurs qui semblent permettre le maintien de la polyculture-élevage en contexte incertain et
- ii. les évolutions possibles des facteurs de changement ayant une influence sur le maintien de la polyculture-élevage.

Chapitre 4 : Des innovations pour conforter la durabilité des exploitations de polyculture-élevage. (Article 4)

Nous faisons l'hypothèse que des innovations au sein des systèmes techniques doivent être cohérentes avec les capacités adaptatives démontrées par le passé (Darnhofer *et al.*, 2010 ; Moulin *et al.*, 2008). Nous nous sommes donc demandé quelles innovations du système technique de polyculture-élevage permettraient aux agriculteurs de durer en situation d'incertitude.

4.1. Matériel et méthodes

4.1.1. Démarche générale

Le champ des études du futur ou études prospectives est très diversifié autant dans les sujets abordés que dans le type de démarches mises en œuvre (Simon *et al.*; 2006). Notre démarche s'inscrit dans le champ des méthodes qualifiées « *d'exploratoires* » (Börjeson *et al.*, 2006). Nous étudierons en particulier les adaptations des agriculteurs au changement. Pour cela, nous explorerons des scénarios dits stratégiques. Comme l'ont souligné van Notten *et al.* (2003), une démarche de prospective ne se résume pas aux scénarios explorés mais constitue une approche méthodologique plus large, intégrant la conception de la démarche et la conceptualisation du problème. Aussi présenterons-nous notre démarche en trois étapes (figure 8) :

Etape 1 : Identification de scénarios stratégiques techniques via des réunions collectives entre chercheurs et partenaires. Cette étape s'inscrit sur le temps long en croisant i) des chemins « *Autonomie* » et « *Diversification* » pertinents pour durer en polyculture-élevage (*Chapitre 3*) avec ii) les préoccupations des partenaires par rapport au contexte de leur environnement futur. Cette étape inclut la sélection d'un outil de simulation des scénarios retenus (en lien avec les *chapitres 2 et 3*).

Etape 2 : Simulations de leur mise en œuvre sur deux cas réels locaux, via un suivi chez chaque agriculteur retenu.

Etape 3 : Evaluation des scénarios techniques obtenus via i) une réunion de discussion avec les partenaires des résultats de simulation et ii) une exploration de la sensibilité de ces scénarios sous deux contextes économiques et politiques futurs contrastés.

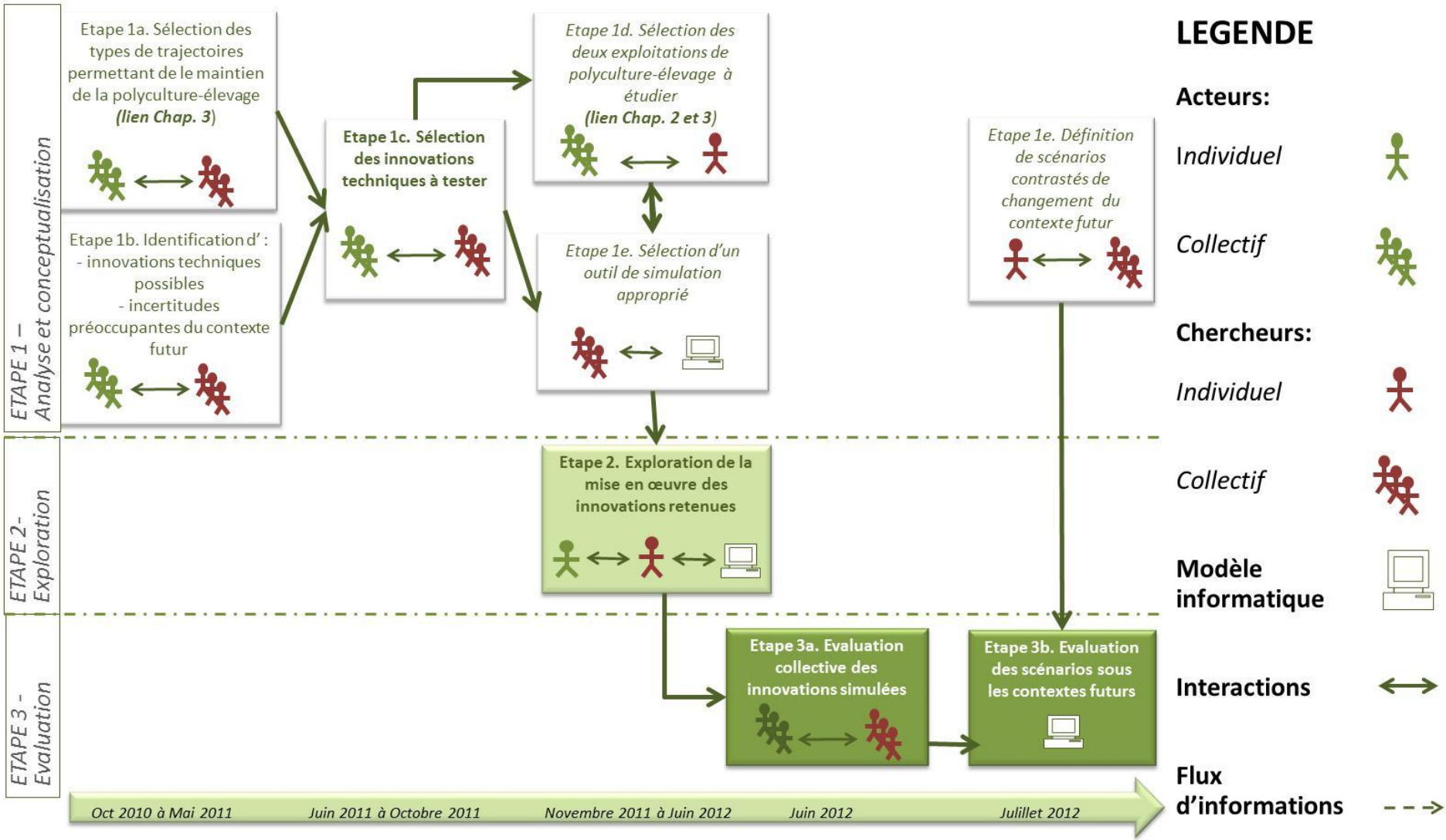


Figure 8: Déroulement de la démarche de prospective (présentation inspirée de Martin et al., 2012)

Chaque étape est détaillée dans l'article 4. L'ensemble de la démarche de prospective a ensuite été évaluée « à froid » via douze entretiens téléphoniques d'agriculteurs partenaires.

4.1.2. Modèle de simulation et cas réels retenus

Une innovation du système technique⁸ a été retenue collectivement pour chacun des deux types de trajectoires retenus. En accord avec les partenaires, nous les avons explorés par simulation informatique pour stimuler les discussions, à l'instar d'autres études prospectives en partenariat (Carberry *et al.* 2002 ; Martin *et al.*, 2011b ; Romera *et al.*, 2004). La modélisation permet de tester ex-ante l'effet de pratiques innovantes dans un système de production (Le Gal *et al.*, 2011a). Les simulations ont été conduites avec le modèle CLIFS conçu initialement à Madagascar par Le Gal *et al.* (2011a) pour l'accompagnement individuel d'agriculteurs en polyculture-élevage (Figure 9). CLIFS (Crop-Livestock Farm Simulator) calcule des bilans annuels offre-demande à l'échelle de l'exploitation. Il ajuste à la demande en alimentation animale et en fertilisation respectivement l'offre en fourrages et cultures et l'offre en fertilisation.

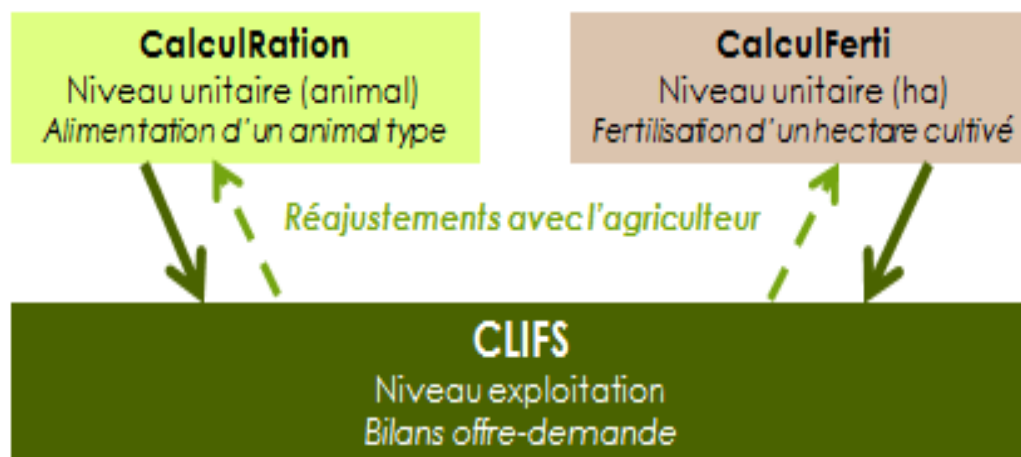


Figure 9: Représentation du fonctionnement de l'outil de simulation CLIFS (Crop-Livestock Farm Simulator)

^{8 8} Pour rappel, nous parlons ici d'innovations comme de processus nouveaux à intégrer au sein des exploitations. Nous ne considérons pas ici des innovations de rupture mais des innovations en lien avec les stratégies adaptatives des agriculteurs sur le temps long, ainsi plus susceptibles d'être adoptées.

En sortie de CLIFS, deux indicateurs de durabilité de la polyculture-élevage ont été évalués: la Marge Brute Globale (MBG) et le surplus annuel d'azote (NS) (Chapitre 2). Le pourcentage de la MBG en élevage a permis d'évaluer si les scénarios déséquilibraient la MBG vers l'élevage ou les cultures ; les agriculteurs locaux souhaitant conserver un équilibre. La faisabilité de chaque scénario a été testée par une analyse de type bilan travail en élevage (Dedieu et Servièrre, 1997). Les partenaires ont souhaité travailler sur deux cas réels plutôt que sur des cas-types. Les simulations ont été conduites chez deux exploitants volontaires et représentatifs chacun d'un des deux types de trajectoires de changement considérées favorables au maintien d'exploitations de polyculture-élevage (Tableau 5).

Tableau 5: Représentativité des deux cas réels retenus par rapport à leur type de trajectoire.

| | Type 1 (13 EA) | EA 15 | Type 3 (8 EA) | EA 50 |
|---------------|----------------|---------|---------------|--------|
| SAU 1955 (ha) | 24.1±8.2 | 40 (>) | 25.6 ±10.8 | 25 (=) |
| SAU 2005 (ha) | 68.1±34.7 | 125 (>) | 55.3 ±53.5 | 50 (=) |
| PU 1955 | 1.4 ±0.8 | 2 (>) | 2.6 ± 0.7 | 3 (=) |
| PU 2005 | 1.5±0.7 | 2 (>) | 1.6 ±0.7 | 2 (=) |
| UTA 1955 | 1.8 ±0.6 | 2 (=) | 2.6 ±1.1 | 3 (=) |
| UTA 2005 | 1.2±0.6 | 1 (=) | 1.7 ±0.8 | 2(=) |

SAU (Surface Agricole Utile), PU (Ateliers de production), UTA (Unités de Travail Agricole)

Pour chaque innovation prospective retenue, nous avons précisé avec l'agriculteur les scénarios relatifs à l'innovation prospective retenue collectivement, en lien avec ses projets personnels et l'expertise d'organismes partenaires (Institut de l'élevage et chambre d'agriculture de Midi-Pyrénées). Dans chacun des deux cas, l'innovation retenue a été déclinée en deux scénarios techniques possibles. Nous avons ensuite paramétré le modèle CLIFS selon les données technico-économiques de l'exploitation et des références techniques locales, en particulier les références cas-types de l'institut de l'élevage (voir Article 4 – Tableau 4, p. 173 et Tableau 6, p. 176).

4.1.3. Hypothèses de changement futur des politiques et marchés agricoles

La construction collective d'un métaplan⁹ nous a permis de cibler les principales préoccupations des agriculteurs locaux face aux changements possibles de l'environnement de leurs exploitations (Figure 10). Les fluctuations des cours de marché des intrants et des produits et les incertitudes sur l'avenir de la PAC leur semblaient à prendre en considération.



Figure 10: Photographies de la réunion de construction du métaplan

A gauche : chaque partenaire donne cinq préoccupations par rapport à l'avenir de son exploitation sur post-its A droite : le groupe de partenaires organise collectivement le métaplan

Nous avons évalué les résultats de simulation selon de nouvelles hypothèses de prix et de primes PAC pour tester la sensibilité des exploitations intégrant les innovations techniques retenues par rapport à des contextes futurs politiques et économiques contrastés. Pour définir des hypothèses, nous nous sommes basés sur des travaux de prospective internationaux (Agrimonde, 2010 ; FAO, 2012 ; MEA, 2005) et des avis d'experts pour les décliner localement (Patrick Veysset, INRA Theix, notamment). Comme le montre le Tableau 6, nous avons retenu un contexte futur témoin dit « *Tendanciel* », qui correspond au prolongement tendanciel des politiques et marchés actuels. Nous avons ensuite retenu deux scénarios principaux dans lesquels les prix des céréales et des fertilisants augmenteront nettement,

⁹Le métaplan est un support d'animation qui permet de structurer des discussions de groupes pour aider à la construction collaborative de visions partagées et favoriser la prise de décision (Kelemen et al., 2012).

comme annoncé dans les prospectives internationales. En revanche, l'établissement du prix de la viande ainsi que la prise en compte des questions environnementales y seront très contrastés. Dans un contexte futur mondialisé dit « *Globalisation* », le prix de la viande restera mondialisé comme dans le scénario témoin ; l'environnement sera considéré de manière pénalisante pour la production bovine, via l'établissement d'une taxe gaz à effet de serre par kilogramme de viande produite. Dans un contexte futur contrasté dit « *Glocalisation* » qui comporterait une reterritorialisation de la production, le prix de la viande correspondrait à un prix circuit court, la PAC pourrait intégrer des primes surfaciques pour la mise en place de prairies temporaires ou d'intercultures.

Tableau 6: Présentation de la déclinaison locale de scénarios futurs contrastés des politiques et des marchés.

| Types d'incertitudes | Tendanciel | « Globalisation » | « Glocalisation » |
|--|--|-----------------------------------|---------------------------|
| Prix de la viande bovine | 2,20 €/ kg vif | 2,20 €/ kg vif | 5,1 €/kg vif |
| Prix des céréales | 132 €/t | 211 €/t | 211 €/t |
| Prix des fertilisants | 303 €/t | 198 €/t | 198 €/t |
| Type et niveau des subventions environnementales | Primes actuelles du 2 nd pilier de la PAC | Taxe GES/ carbone : 0,38 €/kg vif | Prime PAC: 130 €/ha PT/IC |

GES: Gaz à Effet de Serre; PT: Prairies temporaires; IC : Intercultures

4.2. Synthèse des résultats

4.2.1. Des intercultures fourragères pour durer dans le type « *Autonomie* »

Dans le chemin « *Autonomie* », l'innovation retenue est la mise en œuvre d'intercultures fourragères pour i) limiter l'achat de concentrés azotés pour le troupeau et ii) limiter l'appauvrissement des sols en azote et matière organique causé par des rotations peu variées de type blé-tournesol-orge classiquement.

Le cas réel retenu est une exploitation en régime de croisière gérée par 1 UTA : GSB, 50 ans. Les 133 ha de SAU sont composés à 50% de prairies (44 ha temporaires ; 22 ha permanentes), et 50% de cultures (43 ha de blé, 8 ha d'orge et 15 ha de tournesol). Le troupeau comporte 43 vaches allaitantes de race Limousine soit un chargement de 0,8 UGB/ha de SFP. Le taux de renouvellement du troupeau est de 25%. Les broutards sont repoussés à 380 kg vifs; les vaches de réformes sont finies et vendues à 750 kg vifs. Pour l'alimentation du troupeau, 8,9 t de concentrés azotés sont achetées par an (3118 €/an).

GSB recherchait deux types d'intercultures jouant le rôle de cultures fourragères dérobées : une « courte » avec implantation rapide entre deux cultures d'hiver ; une « longue » pouvant être enfouie avant une culture d'été. Pour limiter les intrants azotés pour le troupeau tout en apportant de l'azote au sol, les légumineuses sont apparues incontournables. Des recherches bibliographiques et des échanges avec des experts scientifiques (JP Sarthou et E Justes – INRA Toulouse) nous ont permis de préciser les scénarios puis de les paramétrer.

En interculture courte, le trèfle violet est retenu pour son pouvoir couvrant, son faible coût et l'expérience d'agriculteurs locaux l'ayant mis en œuvre. GSB souhaiterait enrubanner ce trèfle violet pour avoir des stocks disponibles. En interculture longue, un méteil avoine-vesce répondrait aux enjeux ; la vesce a été testée en interculture depuis 5 ans sur la station expérimentale de l'INRA d'Auzeville. GSB a de plus une connaissance et un intérêt pour ce type de mélange qui peut être pâturé par le troupeau ou enfoui si l'autonomie alimentaire est déjà atteinte. GSB a ensuite eu l'idée de laisser un trèfle violet bien implanté une année supplémentaire pour i) avoir plus de stock alimentaire sans surcharge de travail et ii) bénéficier d'une prime PAC de 314 €/ha en déclarant ces surfaces de trèfle en gel annuel¹⁰. La contrainte majeure était l'interdiction de faucher les surfaces déclarées en gel annuel entre le 1^{er} mai et le 15 juillet en Midi-Pyrénées.

¹⁰¹⁰ Dans le cadre de la PAC, les parcelles gelées sont des surfaces primées pour rester non productives. Elles doivent respecter les règles d'entretien de ce type de couvert (date de fauche, période de non-utilisation, ...). Le gel annuel correspond en particulier à des surfaces non productives entrant dans la rotation des parcelles de l'exploitation.

Le scénario 1 est basé sur l'introduction d'une interculture courte de type trèfle violet stocké en ensilage et d'une interculture longue, de type méteil avoine-vesce pâturé et le surplus enfoui. Le scénario 2 ajoute la possibilité de geler le trèfle violet l'année suivante.

Les résultats de simulation sont détaillés dans le Tableau 7.

Tableau 7: Résultats des simulations sur l'exploitation de type « Autonomie »

| Indicateurs | MBG/ha | NS | % MBG élevage | Achat concentrés |
|--|------------------------|------------------|---------------|----------------------------|
| S0 Situation initiale | 683 €/ha | + 6,2 kgN/ha | 73 % | 8,9 t/an soit 3118 €/an |
| S1 : Stockage Trèfle Enfouissement av-vesce | 704 €/ha (+21 €/ha) | - 0,3 kgN/ha | 80 % | 0 t |
| S2 : Idem S1 + Gel du trèfle violet | 744 €/ha (+61 €/ha) | + 2,74 kgN/ha | 70 % | 0 t |

MBG : Marge Brute Globale, NS : Surplus en azote annuel

Par rapport au scénario témoin S0, le scénario S1 permet une augmentation de 21 euros/ha de la MBG. Des économies sont réalisées sur les concentrés grâce à la consommation d'intercultures par le troupeau ; des économies en fertilisation minérale sont réalisées via l'enfouissement de l'avoine-vesce. Le scénario S1 permet une diminution de 5,9 kgN/ha/an du NS pour atteindre -0,3 kgN/ha/an. Le scénario 2 permet une augmentation de 61 euros/ha de la MBG et un NS de 2,74 kgN/ha/an en lien avec la fixation d'azote permise par une année de trèfle violet. Les deux scénarios permettent à l'agriculteur d'atteindre l'objectif de ne plus acheter de concentrés azotés pour l'alimentation animale.

Le bilan travail a mis en évidence deux limites à cette innovation: la gestion de chantiers d'enrubannage supplémentaires pour stocker les intercultures et la période de semis des intercultures à respecter dans les trois jours suivant la récolte de la culture précédente pour garder l'humidité dans le sol. La première limite sera levée par GSB en déléguant l'enrubannage à la CUMA, les charges liées à ce choix étant prises en compte dans les simulations finales. La seconde limite serait gérée par une mise en œuvre des intercultures sous couvert de la céréale précédente au printemps, ce qui donne une plus grande flexibilité au niveau du travail et permettrait aussi une meilleure implantation de l'interculture.

4.2.2. Un atelier de finition de génisses pour durer dans le type « Diversification »

Dans le chemin « Diversification », la mise en œuvre d'un atelier de finition permettrait aux agriculteurs i) de s'offrir des débouchés en circuit court avec une viande mieux rémunérée que sur le marché du maigre italien et ii) une meilleure reconnaissance de la qualité de leur travail par les consommateurs.

Le cas réel retenu est une exploitation gérée par 1 UTA : GR, 30 ans, en cours d'installation. Les 85 ha de SAU sont composés de 50 ha de prairies (15 ha temporaires ; 35 ha permanentes) et 35 ha de cultures (8 ha de maïs fourrager et 2 ha de triticales pour le troupeau ; 17 ha de blé, 4 ha de tournesol et 5 ha de soja pour la vente). Le troupeau comporte 45 vaches allaitantes de race Blonde d'Aquitaine soit un chargement de 1,5 UGB/ha de SFP. Le taux de renouvellement du troupeau est de 20%. Les génisses restantes et les brouards sont vendus maigres à 240 kg ; les vaches de réforme sont vendues maigres.

GR souhaitait agrandir son troupeau à 60 vaches, limite de l'autonomie alimentaire de l'exploitation selon lui. Nos simulations ont montré qu'un troupeau de 60 mères en plus des cultures ne lui auraient pas laissé de marge de manœuvre sur ses stocks fourragers. Un tel agrandissement serait risqué. Notre scénario initial a donc été paramétré à 50 vaches.

Concernant les types d'animaux à finir, nous avons retenu l'option de finition de génisses, les broutards étant mieux valorisés sur le marché du maigre. Selon les organismes partenaires, la finition de génisses alourdies à 350 kg vifs pour 9 mois est réalisée chez des agriculteurs pour la vente directe. Elle peut aussi correspondre à une demande de circuits courts avec un intermédiaire (boucher, coopératives,...). De plus, des génisses de 9 mois seraient un bon compromis par rapport à des génisses de deux ans qui représenteraient une immobilisation de capital, une surcharge de travail, l'occupation prolongée des bâtiments et des risques d'accident (sanitaire ou autre). Nous avons choisi de simuler la commercialisation en vente directe : le prix de vente est intéressant (7,5 €/kg carcasse) ; le lien avec le consommateur renforcé. Les coûts et la charge de travail pour l'abattage et la commercialisation constituent néanmoins des limites importantes. La possibilité de vendre en circuit court avec un intermédiaire serait alors un compromis : le prix de vente serait moindre (5,1 €/kg carcasse) mais resterait meilleur qu'en circuit long ; la charge en travail est limitée. Les génisses seraient produites à nombre de vêlages constant. Pour conserver une certaine autonomie, les génisses seraient finies à partir d'une farine de céréales autoproduites (triticale, blé tendre et maïs) et du stock de fourrages disponible sur l'exploitation.

Les scénarios intègrent la finition de 10 génisses de 10 mois à 350 kg vifs commercialisées en circuit court : vente directe (scénario 1) ou circuit court avec un intermédiaire (scénario 2).

Les résultats de simulation sont détaillés dans le Tableau 8.

Tableau 8: Résultats des simulations sur l'exploitation de type « Diversification »

| Indicateurs | MBG/ha | Bilan N | MBG élevage |
|---|--------------------------------|----------------------|-------------|
| <i>S0</i> <i>Situation initiale (50 VA)</i> | 717 €/ha | + 50,3 kgN/ha | 70% |
| S1 : 10 génisses de 350 kg vifs en vente directe | 840 €/ha (+123 €/ha) | + 49,7 kgN/ha | 78% |
| S2 : 10 génisses de 350 kg vifs en circuit court à un intermédiaire | 773 €/ha (26 €/ha) | + 49,7 kgN/ha | 76% |

MBG : Marge Brute Globale, NS : Surplus azoté annuel

Par rapport au scénario témoin, les scénarios 1 et 2 permettent, respectivement, une augmentation de 123 euros/ha et de 26 euros/ha de la MBG. Les deux scénarios accentuent le déséquilibre de la MBG vers l'élevage : le produit d'élevage est augmenté par une meilleure valorisation des génisses alors que le produit des cultures diminue en lien avec l'autoconsommation d'une plus grande quantité de céréales. Les scénarios ont en revanche peu d'influence sur le NS car ils ne modifient pas l'assolement: le NS diminue seulement de 0,6 kgN/ha en lien avec l'utilisation de céréales autoproduites pour alimenter les génisses. L'intérêt de cette innovation par rapport à la MBG a été reconnu par le collectif. Le risque de ne pas trouver de débouché en vente directe à cause d'une concurrence croissante a été pointé.

Le bilan travail a contribué à la pertinence du paramétrage des scénarios : il a confirmé un agrandissement pertinent à 50 mètres maximum pour permettre de conserver des marges de manœuvre en maintenant élevage et cultures. Ce bilan nous a aussi permis de limiter le nombre de génisses à finir à dix pour que GR n'ait à gérer ni abattage ni commercialisation pendant les deux mois de fin d'été très prenants au niveau des cultures. Le bilan travail a aussi pointé une limite majeure à cette innovation : au moins 2 jours de travail seraient nécessaires par génisse pour l'abattage et les livraisons, sans considérer les relations avec les clients. Ce scénario peut être risqué pour 1 UTA seul.

4.2.3. Evaluation de la sensibilité des innovations en contextes futurs contrastés

Dans le scénario « Tendancier », les innovations mises en place permettent une amélioration de la MBG des exploitations dans les deux scénarios que nous avons simulés par innovation technique. Néanmoins, la MBG est largement défavorisée dans le contexte « Globalisation », alors qu'elle sera nettement favorisée dans le contexte « Glocalisation ». Par rapport au contexte actuel, la MBG du scénario S0 diminue d'au moins 200 €/ha et augmente d'au moins 200 €/ha dans les deux cas. En particulier en contexte « Globalisation », un prix de la viande faible et une taxe GES seraient très pénalisantes pour les exploitations de polyculture-élevage retenues, malgré la mise en place des innovations. En revanche, des incitations par des politiques environnementales incitant à la mise en place d'intercultures, ainsi qu'un prix de la viande élevé leur seraient favorables en contexte « Glocalisation ». Les

résultats chiffrés de cette étape figurent dans le tableau 7 de l'Article 4 (p. 177). Concernant le type « *Autonomie* », la projection des résultats en contexte contrasté montre que dans chaque contexte, le scénario 2 (gel du trèfle violet) est le plus favorable à la MBG de l'exploitation ; le scénario 2 reste plus favorable que le S0. Concernant le type « *Diversification* », le scénario 1 (vente directe) est le plus favorable dans les deux contextes ; le scénario 2 ne présente pas d'intérêt majeur. La mise en œuvre des innovations considérées permet donc des améliorations de MBG à la marge dans toutes les configurations mais ne suffiraient pas à maintenir la polyculture-élevage dans un contexte drastique. Ces scénarios alternatifs ne suffiraient en effet pas à compenser un contexte futur très défavorable à l'élevage comme le contexte « *Globalisation* » qui reste très contraignant pour la MBG dans tous les cas considérés.

4.3. Discussion

4.3.1. Des innovations au carrefour de préoccupations sur la polyculture-élevage

Cette étude prospective permet d'identifier deux pistes principales pour une durabilité des systèmes de polyculture-élevage. Proposer une diversité d'innovations est fondamental pour laisser des choix aux acteurs (Meynard *et al.*, 2012). La mise en œuvre de cultures intermédiaires est une innovation technique majeure, dans les systèmes de grandes cultures (Schneider *et al.*, 2008). Les intercultures sont reconnues pour la maîtrise des fuites d'azote et d'autres services écosystémiques (qualité des sols, érosion, biodiversité) (Justes *et al.*, 2012). C'est aussi une piste prometteuse pour les systèmes de polyculture-élevage (Schiere et Kater, 2001), qui s'inscrit dans le cadre de l'agro-écologie (Altieri, 1996 ; Gliessman, 1995, Guthman, 2000). Modifier l'assolement pour sécuriser les stocks fourragers est une source de flexibilité processus¹¹ pour l'élevage allaitant (Astigarraga et Ingrand, 2011).

La mise en œuvre d'un atelier de finition rejoint des réflexions sur la viabilité économique de l'élevage allaitant au niveau régional, notamment de la coopérative locale

¹¹ : La flexibilité processus considère les processus alternatifs d'élaboration de ressources diversifiées et potentiellement utiles ; ces processus peu spécialisés offriront des capacités tampons (Dedieu et Ingrand, 2010).

Synergie (Belland, 2011) et au niveau national ou européen dans un contexte de reterritorialisation des productions et de recherche de valeur ajoutée (Mosnier *et al.*, 2009 ; Veysset *et al.*, 2005). Des recherches sur la conversion à l'agriculture biologique pour sortir des circuits longs ont montré que la finition de génisses pouvait être pertinente s'il n'y avait pas de surcoût en concentrés achetés (Veysset et Bécherel, 2009). La finition de génisses offrirait une flexibilité mix¹² à des exploitations extensives de bovins allaitants (Astigarraga et Ingrand, 2011). Ces résultats demanderaient un complément d'analyse car Belland (2011) a montré que l'intérêt économique de l'engraissement de bovins dans les conditions locales pouvait être limité par l'occurrence fréquente des sécheresses estivales et leur impact sur les ressources alimentaires disponibles pour les troupeaux.

4.3.2. Une robustesse questionnée face à des incertitudes fortes de l'environnement

Les innovations retenues permettent d'améliorer la MBG des exploitations mais ne sembleraient pas suffire à compenser un contexte futur des marchés et politiques très contraignant pour l'élevage, comme le contexte « *Globalisation* ». Comme l'ont avancé Astigarraga et Ingrand (2011), la flexibilité mix permet des ajustements mais n'est pas adéquate face à des incertitudes majeures de l'environnement. Pour favoriser le maintien d'exploitations de polyculture-élevage dans un contexte drastique comme le contexte « *Globalisation* », des incitations politiques seraient nécessaires, en complément de la mise en œuvre des innovations adaptées localement que nous proposons. Ceci rejoint les propositions de Meynard (2012), selon lequel deux leviers peuvent être mobilisés pour permettre un maintien ou un renforcement des associations entre productions animales et végétales : le levier adaptation locale (que nous avons mobilisé ici) et le levier politique.

Dans le contexte « *Glocalisation* », des incitations politiques plus territoriales bénéficieraient largement aux exploitations, et en particulier dans le cas de la mise en œuvre d'un atelier de finition des génisses avec une valorisation en circuit court. Les agriculteurs ont

¹² La flexibilité mix est permise en retardant la différenciation des productions, une forme de flexibilité de la production qui diminue les risques de sur- ou sous-production d'un type de produit Astigarraga et Ingrand, 2011).

par ailleurs exprimé au cours de la démarche des inquiétudes concernant la main d'œuvre sous deux aspects : les problèmes d'organisation du travail sur des exploitations agrandies et les possibilités de transmission des exploitations face à l'absence de successeur. Le premier a été considéré dans notre étude par une analyse de type bilan travail pour évaluer la faisabilité de la mise en œuvre des innovations retenues. La démographie agricole n'a pas été considérée ici, ce qui constitue une limite à notre travail.

4.3.3. Connaissances actionnables pour les partenaires

Les démarches en partenariat doivent fournir des connaissances scientifiques mais aussi des connaissances actionnables, c'est-à-dire pertinentes pour les partenaires locaux (Soulard *et al.*; 2007). Lors des entretiens « à froid » conduit pour évaluer la démarche, les agriculteurs ont pointé des apprentissages au niveau de l'approche économique globale de l'exploitation via la MBG. Notre travail leur a permis de comprendre « ***qu'il ne fallait plus toujours faire la course*** »¹³ et que « ***la performance serait de savoir à partir de quand on dépense trop pour produire.*** ». Ceci appelle à un retour au « *communal ideotype* », selon lequel la productivité du système est plus importante que celle de ses parties (van Keulen et Schiere, 2004)

La démarche a aussi permis aux partenaires d'acquérir de nouvelles connaissances techniques en lien avec les innovations ciblées. Les questions d'autonomie protéique, de dates et méthodes d'implantation des légumineuses ont été abordées, ainsi que l'organisation du travail et les débouchés en vente directe. Les simulations sur des cas réels ont permis aux agriculteurs d'échanger leurs expériences et de « ***voir ce qui pouvait être faisable ou non localement*** ». Les agriculteurs ont été stimulés par le fait que l'un des agriculteurs décide de présenter lui-même nos résultats de simulation lors de la dernière réunion collective. La dimension locale des travaux a de plus permis que « ***le sujet soit vraiment dans [leurs] cordes pour une fois avec des résultats concrets*** ». Ces résultats ont plutôt servi d'artefact pour susciter une discussion enthousiaste en stimulant l'analyse réflexive et interactive, comme l'ont souligné d'autres auteurs dans ce type de démarche (ComMod, 2005 ; Martin *et al.*,

¹³ Les citations en italique gras et entre guillemets sont les formulations exactes des agriculteurs lors des entretiens « à froid ».

2011b). Les partenaires ont aussi apprécié de partager leurs visions de l'agriculture entre eux et avec « d'autres corps de métiers qui pouvaient avoir un regard objectif sur la situation locale ». Ils estiment qu'on « **apprend de l'expérience des autres** » mais surtout que de « **se retrouver, ça met du baume au cœur.** »

4.3.4. Une démarche originale de conception en partenariat

Notre démarche se situe dans le champ de la conception de systèmes agricoles innovants. Nous nous positionnons en particulier dans une démarche de type « *simulation-based participatory* » Martin *et al.* (2012), ou « *design support modelling* » (Le Gal *et al.*, 2011b). Notre approche s'est principalement axée sur la construction de la question en lien avec la créativité du collectif comme le prônait Schön (1983). A l'instar d'Andrieu et Nogueira (2010), nous avons choisi un outil relativement simple d'utilisation et paramétrable avec des données réelles pour être transparents avec les partenaires. Ce type d'outil ne permet pas de simuler précisément le fonctionnement biotechnique du système de production mais offre la possibilité de réaliser des adaptations pas-à-pas avec les partenaires, contrairement à des modèles plus complexes reposant sur une programmation plus lourde (Martin *et al.*, 2011a).

Nous avons conduit de l'apprentissage collectif sur des pratiques individuelles en combinant des étapes collectives et individuelles. Les réflexions collectives ont permis de partager des connaissances pertinentes localement pour proposer des innovations stimulantes pour le groupe : « **pour une fois, c'est local et concret, ça rejoint nos idées!** » Ce type de démarche relève un défi de la recherche (Schneider *et al.*, 2008) : croiser des connaissances, empiriques, techniques et scientifiques issues respectivement des producteurs, acteurs du développement et de la recherche. Nos travaux ont contribué à enrichir la réflexion tant des producteurs que des chercheurs et acteurs du développement (Matthews *et al.*, 2011). Comme l'ont souligné Voinov et Bousquet (2010), réunir des personnes aux compétences variées offre aussi une vision plus large et équilibrée des questions. Les agriculteurs ont pointé « **l'intérêt d'échanger avec des personnes issues de corps de métier différents** ». Se baser sur les connaissances de chacun est fondamental dans la conception de systèmes (Meynard *et al.*, 2012). Pour permettre l'adoption de pratiques durables, scientifiques et experts doivent être

prêts à apprendre des agriculteurs et de leurs expériences (Röling et Wagemakers, 1998; Thornton et Herrero, 2001).

Synthèse du chapitre:

Cette étude prospective permet d'identifier des voies techniques porteuses pour la recherche sur les systèmes de polyculture-élevage dans une perspective de développement durable de l'agriculture. La mise en œuvre de cultures intermédiaires est une innovation technique majeure dans les systèmes de grandes cultures ; elle est encore peu abordée comme option pour une durabilité de la polyculture-élevage. La mise en œuvre d'un atelier de finition rejoint les réflexions sur la viabilité économique de l'élevage allaitant européen dans un contexte de reterritorialisation des productions et de recherche de valeur ajoutée. Ces intérêts peuvent être étendus aux questions concernant la polyculture-élevage. Ces travaux mobilisent un levier de type adaptation locale qui est important mais ne permet pas de résister face à un contexte de mondialisation des marchés non atténué par une politique de soutien aux agriculteurs, le levier politique devrait alors être mobilisé.

Les scénarios prospectifs retenus peuvent aider au maintien des systèmes de polyculture-élevage en leur conférant une plus grande résilience en contexte incertain. Notre démarche s'intègre dans les démarches « *simulation-based participatory* » ou « *design support modeling* ». Elle est originale en ce sens où elle mobilise une étude rétrospective des chemins pour durer en polyculture-élevage comme fondement de l'étude prospective. Ainsi, les innovations proposées sont dans la continuité des stratégies de long terme des agriculteurs : elles seraient donc pertinentes localement et susceptibles d'être adoptées.

Ce type de démarche participative a permis d'impliquer les acteurs locaux dans une réflexion avec un collectif de chercheurs. La démarche a permis un apprentissage collectif et individuel et la création de connaissances actionnables. Les réunions collectives ont ainsi permis à différents types d'agriculteurs mais aussi à différents corps de métiers de partager leurs visions de l'avenir local de la polyculture-élevage. Notre démarche a donc permis le croisement de différents types de connaissances : empiriques, techniques et scientifiques issues respectivement des producteurs, des instituts de développement et de la recherche.

Chapitre 5 : Discussion Générale

Cette discussion générale est centrée sur deux points spécifiques : i) la contribution des résultats obtenus dans cette thèse à la question de la durabilité des systèmes de polyculture-élevage en zone européenne défavorisée et ii) les avancées méthodologiques proposées pour éclairer la durabilité des exploitations via une démarche qui s'appuie explicitement sur les cadres offerts depuis peu par les théories de l'adaptation des exploitations vues comme des systèmes socio-écologiques.

5.1. Contribution à la question de la durabilité des exploitations de polyculture-élevage

5.1.1. Des systèmes de polyculture-élevage locaux d'intérêt pour une durabilité économique et environnementale

L'intérêt porté aux exploitations de polyculture-élevage pour une durabilité de l'agriculture dans la littérature internationale repose sur les avantages qu'on leur prête vis-à-vis des systèmes spécialisés pour une durabilité économique et environnementale (Russelle *et al.*, 2007 ; Schiere *et al.*, 2002 ; Wilkins, 2008). Dans une première étape de la thèse, nous avons mis à l'épreuve ces théories sur un cas type de région européenne défavorisée (Chapitre 2- Article 2 ; Ryschawy *et al.*, 2012a). D'après nos résultats, la polyculture-élevage autorise effectivement en moyenne un meilleur compromis quand on considère l'ensemble des exploitations d'une zone. Une large diversité a été néanmoins observée au sein des exploitations de polyculture-élevage. Ces variations importantes de performances économiques et environnementales entre exploitations de polyculture-élevage conduisent à penser qu'elles ne seraient pas toujours plus durables que des exploitations spécialisées (Chapitre 2). L'approfondissement de cette question demande aussi de s'interroger sur la dimension sociale de la durabilité, et en particulier l'organisation du travail, qui constitue une limite à la durabilité des exploitations de polyculture-élevage (Hendrickson *et al.*, 2008b). Notre étude basée sur des indicateurs technico-économiques ne nous a pas permis d'aborder cette dimension, ce qui constitue une des limites de ce travail.

5.1.2. ...éclairée par des stratégies adaptatives particulières...

Le Chapitre 2 ayant pointé une large diversité parmi les exploitations de polyculture-élevage, nous avons souhaité appréhender les capacités adaptatives qui ont permis le maintien d'un système de polyculture-élevage jusqu'à présent (Chapitre 3- Article 3 : Ryschawy *et al.*, 2012b). Etudier les « chemins pour durer » en polyculture-élevage par le passé nous est apparu pertinent pour éclairer les choix en matière de conduite technique et d'organisation du travail (Lémery *et al.*, 2005 ; Moulin *et al.*, 2008). Nous avons ainsi éclairé les capacités adaptatives mises en œuvre pour faire face aux difficultés reconnues du maintien de la polyculture élevage. Ces travaux peuvent aussi servir de support à la conception de systèmes innovants pertinents dans un contexte local (Dedieu, 2009 ; Moulin *et al.*, 2008), car basés sur des stratégies adaptatives développées par les agriculteurs. « *Autonomie* » et « *Diversification* » sont deux stratégies adaptatives favorables au maintien de la polyculture-élevage en contexte incertain. La stratégie « *Autonomie* » rejoint des analyses actuelles des sources de flexibilité en polyculture-élevage proposée par Coquil *et al.* (2011) concernant l'importance de l'autonomie pour s'adapter en polyculture-élevage. Cette stratégie permettrait de favoriser une durabilité environnementale et économique de la polyculture-élevage par la diminution des intrants et des logiques en lien avec l'agro-écologie (Hendrickson *et al.*, 2008c). La stratégie « *Diversification* » rejoint plutôt des approches théoriques proposées en économie (Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008) : en lien avec cette stratégie, la durabilité économique serait favorisée.

5.1.3. ...qui ont permis un relatif maintien de la polyculture-élevage en zones défavorisées.

Darnhofer *et al.* (2010), en particulier, pointaient un manque de recherches expliquant que la spécialisation et la technologie n'aient pas été adoptées dans les zones défavorisées européennes. Pour les agriculteurs des zones défavorisées, les stratégies adaptatives ne passent majoritairement pas par la spécialisation ou l'intensification : la polyculture-élevage représente localement une sécurité. Des stratégies adaptatives comparables ont été mises en évidence dans d'autres régions européennes : Lémery *et al.* (2005) en Bourgogne ; Garcia-Martinez *et al.*, (2008) et Rueff *et al.* (2012) dans les Pyrénées espagnoles et françaises

respectivement. Ceci nous permet de faire l'hypothèse que ces types de stratégies peuvent être généralisés à des zones similaires. Notre travail conforte donc les éléments mis en avant jusqu'ici par rapport au maintien de systèmes alternatifs au modèle de développement européen en zone défavorisée. Il apporte un éclairage spécifique pour les zones de piémont dans lesquelles certaines terres permettent les cultures mais seul l'élevage de ruminants permet de valoriser des prairies en pente. Comme l'ont souligné Schiere et Kater (2001), les agriculteurs ont toujours connu le « *communal ideotype* », mais il a été oublié en Europe dans les zones où l'on pouvait intensifier beaucoup la production. Selon eux, « *cheap resources lead to specialization, restricted use of resources leads to mixing* », ce qui pourrait expliquer le maintien de la polyculture-élevage en zones défavorisées.

5.1.4. Des innovations en lien avec les stratégies adaptatives des agriculteurs peuvent faciliter le maintien futur d'exploitations de polyculture-élevage.

Nous avons mobilisé ces résultats pour étudier le maintien de la polyculture-élevage à l'avenir (Chapitre 4 - Article 4 ; Ryschawy *et al.*, 2012c). Nous avons retenu les exploitations appartenant aux deux types de stratégies adaptatives favorables au maintien de la polyculture-élevage en contexte incertain : « *Autonomie* » et « *Diversification* » (Chapitre 3). Nous avons fait l'hypothèse que des innovations du système technique de production favoriseraient le maintien d'exploitations de polyculture-élevage à l'avenir (Martin, 2009 ; Meynard et Casabianca, 2011 ; Le Gal *et al.*, 2011a). Ceci implique que de telles innovations soient pertinentes pour maintenir un système de polyculture-élevage dans un système d'exploitation qui de fait est résilient et dont l'organisation générale resterait inchangée en terme de main d'œuvre et superficie. Ainsi, d'éventuelles modifications de l'exploitation en réponse à des facteurs externes ou internes ne sont plus considérées. Ce changement d'échelle est justifié par le souhait du groupe de partenaires d'approfondir des résultats concrets et techniques en complétant l'approche globale proposée précédemment.

Les deux innovations techniques retenues recourent à la fois des préoccupations locales des agriculteurs, d'instituts techniques et des fronts de recherche émergents i) en agronomie pour la mise en place d'intercultures fourragères (Justes *et al.*, 2012) et ii) en zootechnie pour

la mise en place d'un atelier de finition (Astigarraga et Ingrand, 2011; Mosnier *et al.*, 2009 ; Benoît et Veysset, 2003). Les résultats chiffrés et leur évaluation par les agriculteurs ont permis de voir que ces deux innovations seraient à même de conforter les capacités adaptatives des exploitations. Proposer des solutions liées i) aux types de stratégies adaptatives des agriculteurs et ii) à la diversité des pratiques et des systèmes de polyculture-élevage qui y sont liées permettrait de conforter la durabilité des exploitations (Chapitre 4). Nos résultats montrent que les innovations proposées auraient un effet tampon en cas de perturbations de l'environnement mais ne permettraient néanmoins pas de résister à certains changements majeurs de l'environnement, comme l'ont mis en évidence Astigarraga et Ingrand (2011).

5.1.5. *Un changement de paradigme pour revenir à une logique de polyculture-élevage*

Le terme d'« innovations » peut être questionné pour les options techniques que nous avons retenues, en ce sens où elles s'inscrivent dans un « retour à l'agronomie ». L'utilisation d'intercultures ou la finition des bovins étaient des pratiques traditionnelles en France. De nombreuses pratiques ont été oubliées depuis les années 1970 par les politiques de développement agricole européen (Meynard *et al.*, 2012). Plus largement, le retour à la polyculture-élevage qui était traditionnelle par le passé en Europe correspondrait aussi à proposer du « *old wine in new bottles* » selon van Keulen et Schiere (2004). Meynard et Casabianca (2011) ont souligné qu'une même innovation pouvait être considérée comme une avancée par certains et une régression par d'autres. Les exploitations de polyculture-élevage qui se sont maintenues ont néanmoins évolué : elles se sont modernisées et ne correspondent plus à l'image d'une agriculture désuète du passé. Comme Schiere et Kater (2001), nous appelons à la redécouverte de ces pratiques pertinentes d'un point de vue agronomique. Aussi proposer de les réintégrer au sein des systèmes de polyculture-élevage alors qu'elles n'y existent plus peut être considéré comme une innovation. Meynard *et al.* (2012) ont d'ailleurs souligné que l'innovation ne devait pas toujours correspondre à un flux nouveau de connaissances mais devait capitaliser au moins partiellement sur les acquis.

Des pratiques autonomes et bénéficiant d'une sécurisation par l'intégration entre élevage et cultures à l'échelle de l'exploitation étaient d'ailleurs à la base de la plupart des systèmes durables par le passé (Schiere et Kater, 2001). L'application de ce paradigme est alors nécessaire parmi les agriculteurs et au niveau du conseil pour accepter de revenir au « *communal ideotype* », selon lequel le rendement du tout est plus important que les performances individuelles de ses parties. Les agriculteurs locaux ont considéré avoir réintégré cette notion grâce à la démarche et la discussion autour de MBG de l'exploitation, ce qui constitue l'un des résultats fondamentaux de cette thèse. Comme ils l'ont souligné « ***il faut bien gérer les coûts et surtout considérer si le coût des derniers quintaux est valable*** ».

5.1.6. Facteurs et échelles non considérés par rapport au maintien de la polyculture-élevage

Combiner des données actuelles et passées avec une analyse prospective nous a permis d'explorer largement les facteurs d'influence du contexte sur le maintien des exploitations de polyculture-élevage. Nous n'avons cependant pas considéré i) certains facteurs reconnus comme des composantes majeures de l'ampleur et de l'incertitude des changements de l'environnement et ii) la possibilité d'intégrer élevage et cultures à l'échelle du territoire.

5.1.6.1. La démographie agricole : un facteur limitant la transmission des exploitations

L'évolution de la démographie agricole a été soulignée par les agriculteurs mais n'a néanmoins pas été considérée dans notre étude. Aussi n'avons-nous pas abordé la transmission possible des exploitations qui est pourtant une question importante par rapport à l'avenir des exploitations de polyculture-élevage et plus largement des exploitations avec de l'élevage en Europe (Dedieu et Servière, 1997). Nous avons fait le choix de ne pas aborder la transmission que recouvrerait plutôt le champ d'analyses sociologiques alors que nous nous inscrivons ici dans une étude en sciences agronomiques bien que l'approche soit intégrée.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 3, la pertinence de deux types de stratégies adaptatives était fortement remise en cause par le manque de main d'œuvre agricole. Les types de stratégies 4 (sécurisation par l'agrandissement de l'exploitation) et 5_1 (adaptations

progressive de l'exploitation à la main d'œuvre familiale) auraient néanmoins pu être considérés dans l'étude prospective. Ces deux types de stratégies ont en effet permis jusque dans les dernières décennies un maintien des exploitations de polyculture-élevage. Des innovations axées sur une réorganisation du travail ou sur la mise en place de structures d'exploitations sociétaires auraient alors pu être testées. Ces dimensions ont été évoquées en réunions collectives comme des voies possibles pour s'adapter au manque de main d'œuvre agricole. Nous ne les avons cependant pas retenues pour les simulations prospectives. Ceci constitue une limite importante à notre travail, en ce sens où une partie des questions relatives au maintien de la polyculture-élevage est fortement liée au manque de main d'œuvre agricole. Prendre en compte les types de stratégies 4 et 5_1 nous aurait permis de considérer la diversité de chemins conduisant à la polyculture-élevage alors que nous nous sommes limités à partir de l'étude prospective à deux types, estimés plus favorables en contexte incertain.

5.1.6.2. *Le climat : un facteur qui met au défi l'adaptation des exploitations agricoles*

Le climat n'a pas été pris en compte dans notre étude alors qu'il est reconnu comme un facteur mettant au défi l'adaptation des exploitations (Astigarraga et Ingrand, 2011 ; Dedieu, 2009 ; Martin *et al.*, 2011a). D'autres études prospectives comme le projet ClimFourrel considèrent ce facteur comme central dans leurs approches et notamment par rapport au maintien de l'élevage (Martin *et al.*, 2011b). Nos scénarios sont basés sur des moyennes interannuelles fournies par les agriculteurs et les cas-types de l'institut de l'élevage ; nous n'avons donc pas pris en compte la variabilité interannuelle des niveaux de production des cultures de vente et des fourrages. Ceci est une limite importante de notre étude d'autant plus que les Coteaux de Gascogne font partie des régions françaises où les impacts du réchauffement climatique seront vraisemblablement les plus marqués (Belland, 2011).

Nous avons fait le choix de ne pas non plus considérer le changement climatique dans notre étude tout d'abord car ce facteur n'impacte pas spécifiquement les exploitations de polyculture-élevage. Le changement climatique pose localement question autant pour les cultures que pour l'élevage : nous pouvons supposer qu'il n'inciterait donc pas à la spécialisation dans l'une ou l'autre de ces voies. Ensuite, lors de la co-construction du

métaplan, seul un agriculteur a abordé le changement climatique parmi ses préoccupations majeures, alors que l'économie, les politiques et les marchés ont été au cœur des échanges. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que ces agriculteurs ont l'expérience de la gestion de variations interannuelles fortes des conditions climatiques et aussi d'une augmentation de la fréquence des années sèches. Cette hypothèse rejoint les résultats d'une étude auprès d'éleveurs laitiers du Grand-Ouest. Dans un contexte où le changement climatique est certes moins présent, le climat a été rarement identifié comme un facteur explicatif des changements de pratiques des dix dernières années. Une gestion tactique des récentes sécheresses y a été identifiée et non des changements stratégiques (Van Tilbeurgh *et al.*, in press).

5.1.6.3. *La polyculture-élevage à l'échelle du territoire : une option émergente?*

Cette thèse fournit des résultats sur la polyculture-élevage uniquement à l'échelle de l'exploitation alors que des travaux de recherche récents abordent aussi la question de la polyculture-élevage à l'échelle du territoire, c'est-à-dire sous l'angle de flux entre exploitations spécialisées d'élevage et de cultures (Projet Can together; Gibon *et al.*, 2011b ; de Wit *et al.*, 2006). Les échanges d'alimentation/ fertilisation entre exploitations spécialisées confèreraient à une polyculture-élevage à l'échelle du territoire les mêmes intérêts environnementaux qu'à l'échelle de l'exploitation : les externalités environnementales négatives seraient limitées (de Wit *et al.*, 2006 ; Seré *et al.*, 1996).

Cette piste aurait comme intérêt supplémentaire de s'affranchir des soucis d'organisation de travail et de manque de main d'œuvre agricole dans des exploitations diversifiées : les agriculteurs ne devraient pas gérer conjointement plusieurs ateliers. Des besoins en énergie pour le transport des matières échangées devront néanmoins être considérés. Toutefois, Steinfeld *et al.* (1998) considèrent d'ailleurs la polyculture-élevage à l'échelle du territoire comme l'aboutissement du processus d'évolution des exploitations agricoles (Figure 11).

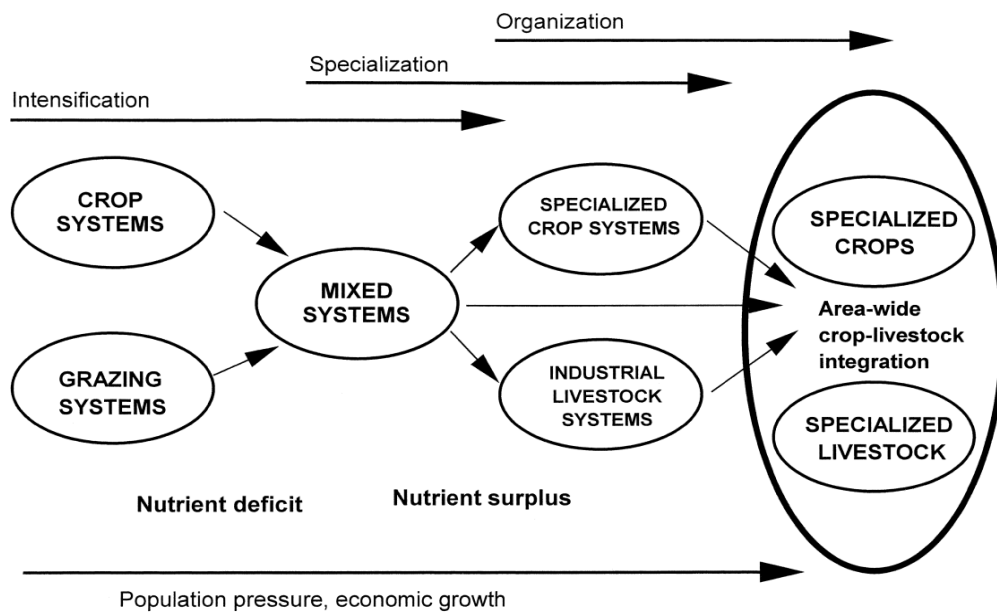


Figure 11 : Chemins pour l'intégration élevage-cultures (Steinfeld et al., 1998)

Cette piste s'inscrit néanmoins dans la poursuite de la logique spécialisation-intensification avec des effets à questionner quant à l'évolution des paysages agricoles et du tissu rural, ainsi que de la viabilité économique d'exploitations de taille petite ou moyenne en zones défavorisées. L'association élevage et cultures entre exploitations spécialisées n'offre pas les avantages économiques de limitation des intrants et de moindre sensibilité aux fluctuations des prix de marchés permis à l'échelle de l'exploitation de polyculture-élevage.

5.2. Une démarche originale de prospective en partenariat

5.2.1. Un essai d'application concrète des théories des systèmes complexes adaptatifs

Des auteurs de plus en plus nombreux pointent un décalage entre les intentions méthodologiques des recherches qui se fondent sur les théories de l'adaptation des exploitations vues comme des systèmes complexes adaptatifs et les orientations concrètes des travaux conduits (Darnhofer *et al.*, 2010 ; Dedieu, 2009 ; Lamine et Bellon, 2008 ; Lockeretz et Stopes, 1999). Nous avons élaboré une démarche originale déclinant concrètement les principes inhérents à ces théories (Tableau 9).

Tableau 9: Déclinaison de l'implication des principes de l'adaptation pour notre étude

| Dimension | Principe sous-jacent | Implication sur notre démarche |
|-------------------------------|---|--|
| Vision du système | <p><i>Approche systémique :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Focus sur l'interaction entre les parties du système et pas sur chaque sous-système indépendamment</i> • <i>Etude du fonctionnement des systèmes et pas seulement une approche structurelle</i> | Nos bases de construction des scénarios et nos outils de simulation tiennent compte des cohérences indispensables à la durabilité d'ensemble du système d'exploitation en situation réelle |
| Temps | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Le temps est une variable-clé à intégrer dans l'étude des changements.</i> • <i>L'histoire compte et une analyse du passé est riche d'enseignements</i> | L'analyse des trajectoires passées est un matériau précieux pour le choix d'introduction d'innovations techniques cohérentes avec les types de stratégies adaptatives adoptées par les agriculteurs. |
| Dynamique considérée | <i>Le système est en déséquilibre permanent en ce sens où il co-évolue en permanence avec son environnement et donc sa dynamique change.</i> | Notre démarche se base sur l'hypothèse d'exploitations dynamiques sur le long terme : la réflexion d'ensemble considère que les exploitations et leur environnement évoluent en permanence |
| Contexte | <i>Le contexte est en perpétuel changement et par nature imprévisible</i> | Les innovations sont réfléchies sur un contexte local supposé incertain |
| Inclure les sciences sociales | <p><i>L'agronomie technique ne suffit pas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Une approche intégrée et « acteur-centrée » est nécessaire</i> • <i>Les acteurs doivent être impliqués dans les travaux.</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Une démarche en partenariat est mise en place : un collectif d'acteurs locaux est impliqué dans la réflexion • L'approche est intégrée : elle ne se limite pas à l'optimisation technique |

La lourdeur de la démarche en temps et investissement nous apparaît comme une limite importante à une application poussée de ces principes d'approche de la durabilité des exploitations. Le court terme des projets de recherche actuelle va d'ailleurs à l'encontre des besoins de long terme pour mettre en place des démarches pertinentes de co-conception de systèmes et mobiliser les acteurs (Meynard *et al.*, 2012). Ce travail a été permis dans le cadre de la thèse car le cas d'étude portait sur un site de recherche à long terme ELTER sur lequel une solide base de données socio-techniques et historiques relatives aux exploitations agricoles était déjà disponible au début de la thèse. De plus, les travaux ont été conduits en collaboration avec d'autres chercheurs de l'équipe qui ont également pu nous faire bénéficier de leurs connaissances de la zone étudiée. Si l'enquête exhaustive de la population locale n'avait pas déjà été réalisée et sans ces collaborations, la démarche n'aurait sûrement pas pu aboutir en trois ans. Enfin, la mise en place d'une démarche de recherche en partenariat demande elle aussi du temps. La définition et la mise en œuvre des modalités de travail en partenariat que nous avons adoptées dans le cadre de la thèse ont bénéficié des dispositions relationnelles et institutionnelles qui étaient déjà en place au début de la thèse dans le cadre du programme Chapay (Gibon, 2011a). C'est dans ce cadre que le groupe de travail en partenariat a été constitué. Nous analysons plus précisément dans la suite de cette discussion générale les enseignements de ce travail de groupe.

5.2.2. Analyse de la recherche en partenariat conduite

Alterner différents niveaux de participation a permis l'implication de tous les partenaires à des degrés différents au cours de la démarche. Selon la terminologie des niveaux de participation proposée par Barreteau *et al.* (2010), nous avons eu i) des phases où les partenaires étaient intégrés au niveau « *information* » (Chapitre 2), ii) des phases de « *dialogue* » lors des réunions d'évaluations collectives, dans lesquelles des aller-retour avec les agriculteurs ont contribué aux solutions obtenues (Chapitre 3 et étape 3 du chapitre 4) et iii) des phases de « *co-design* », lors de la co-conception des questions (Étapes 1.2. et 1.3. du chapitre 4) ou du co-paramétrage du modèle (étape 2 du chapitre 4).

Une montée en puissance de la place des partenaires non chercheurs a été observée au fur et à mesure que i) le collectif de chercheurs acquérait des compétences sur le sujet et ii) la doctorante acquérait une légitimité sur le terrain (Tableau 10). Aux différentes étapes du processus, les agriculteurs ont partagé leurs connaissances locales et leur expérience pour aider à interpréter et à construire des résultats pertinents sur la polyculture-élevage locale. Les acteurs locaux ont contribué à préciser les scénarios prospectifs en apportant leurs connaissances. En retour, nous leur avons apporté des résultats concrets et un regard extérieur sur leurs pratiques. Notre démarche a impliqué les acteurs locaux pour proposer des « *résultats actionnables* » et pertinents localement, comme le montre la discussion du chapitre 4. Les agriculteurs ont souligné l'importance des « *résultats concrets adaptés aux Coteaux car ce qui marche à un endroit ne marche pas forcément à un autre* ».

La nécessité d'une recherche conduite en partenariat avec des acteurs locaux est d'ailleurs soulignée (Béranger *et al.*, 2002 ; Hervieu *et al.*, 2003 ; Sébillotte, 2000). Notre démarche a permis le croisement de trois types de connaissances : empiriques, techniques et scientifiques issues respectivement des producteurs, des instituts de développement et des scientifiques. La combinaison de ces connaissances contribue à enrichir la réflexion tant des producteurs que des chercheurs et développeurs acteurs du développement (Matthews *et al.*, 2011). Le modèle CLIFS utilisé a rempli son rôle de support à la discussion entre chercheurs et agriculteurs mais aussi avec les conseillers techniques. Ce travail collectif aurait donc fait émerger des innovations qui concernent les acteurs et les motivent : elles seront donc plus susceptibles d'être adoptées (Thornton et Herrero, 2001). Même si une option est techniquement faisable, il faut savoir si son implémentation est possible dans un contexte socio-économique régional ou national (Schiere et Kater, 2001).

Tableau 10: Analyse du pilotage de la démarche en partenariat adapté de Soulard et al. (2007)

| | |
|--|---|
| <p>Force propre du projet – Dynamique mise en place <i>(niveau du partenariat selon Barreteau et al., 2010)</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Projet d’abord orienté pour produire des connaissances scientifiques contextualisées sur la polyculture-élevage (niveau « information »)</i> ➤ <i>Puis implication progressive des acteurs via des réunions collectives (niveau « dialogue »)</i> ➤ <i>Intégration des acteurs pour une co-construction des innovations et un co-paramétrage des scénarios lors du suivi (niveau « co-design »)</i> |
| <p>Individus médiateurs</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>D’abord, une médiation par le collectif local à l’origine du projet : collectif de chercheurs avec les municipalités, ACVA et conseiller agricole de la Chambre Départementale d’Agriculture</i> ➤ <i>Puis avec l’acquisition progressive de légitimité, la doctorante devient médiatrice puis GSB co-animateur de la dernière réunion en présentant les résultats des simulations et en animant la discussion.</i> |
| <p>Reconfigurations en cours de projet</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Intégration de nouveaux agriculteurs après la réunion collective de discussion des résultats obtenus sur les trajectoires passées</i> ➤ <i>Choix de scénarios techniques plutôt que contextuels ou plus larges</i> ➤ <i>Choix de deux agriculteurs en suivi sur deux innovations précises.</i> ➤ <i>Demande explicite de valorisation des travaux par les acteurs (articles dans la France Agricole et Trait d’Union Paysan, co-rédaction de synthèses entre la doctorante et les présidents de l’ACVA)</i> |

La forte implication des acteurs est reconnue pour susciter l’apprentissage collectif comme individuel (Soulard *et al.*, 2007). Notre étude a permis de mener avec les agriculteurs une réflexion allant jusqu’à remettre en question le paradigme du développement passé selon lequel la performance passait nécessairement par une production élevée et la spécialisation.

Des agriculteurs locaux ayant abandonné la polyculture-élevage ont réfléchi leur système de production sous un autre angle grâce aux résultats de simulation, en particulier les agriculteurs du type 2 de trajectoires passées (passant par la spécialisation en production laitière) (Chapitre 3). Ils ont ainsi réintégré le paradigme de « *communal ideotype* ». Nous sommes alors entrés dans une double-boucle d'apprentissage au sens d'Argyris et Schön (1996) (Figure 12) alors que nous souhaitons au départ arriver à une simple-boucle avec des réflexions sur d'éventuels changements de pratiques.

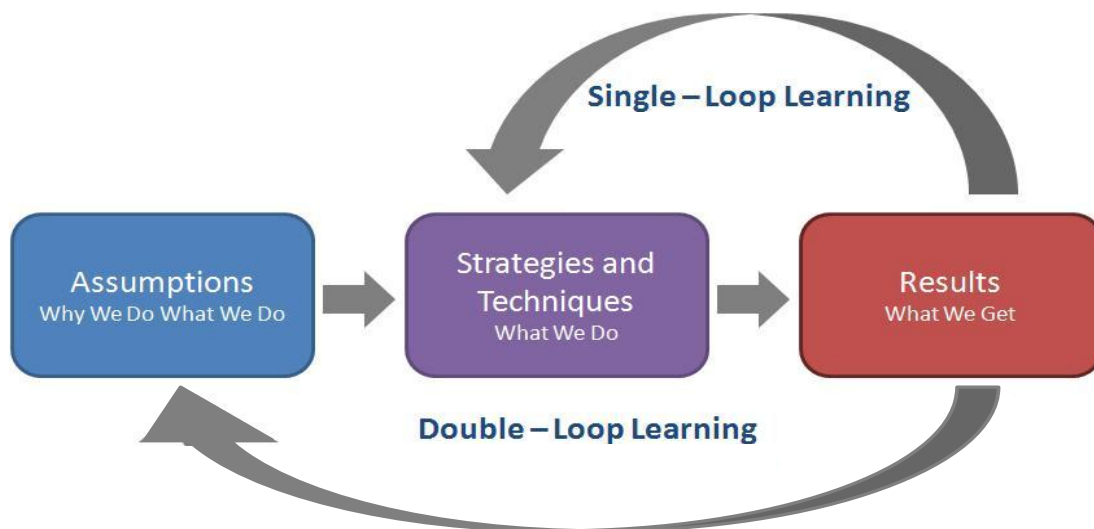


Figure 12: Apprentissage et modèles mentaux (Argyris et Schön, 1996)

Ce type de recherches comporte aussi des limites et des risques qu'il est important de considérer. Les conditions de mise en œuvre de ces démarches en partenariat sont souvent peu explicitées, voire peu réfléchies (Albaladejo et Casabianca, 1997), ce qui peut compliquer les possibilités de publication de ce type de travaux comme souligné par Martin *et al.* (2012) mais aussi nuire à l'implication des acteurs. Dans notre cas, chaque étape a été explicitée et justifiée au fur et à mesure de l'avancée pour assurer la transparence de la méthodologie et permettre l'éventuelle répétition de notre démarche dans d'autres contextes. La transparence du processus est fondamentale pour l'acquisition d'une légitimité des chercheurs sur le

terrain. Barreteau *et al.* (2010) ont mis en garde les chercheurs par rapport à leurs pratiques : un manque d'explicitation peut conduire à disqualifier les approches en partenariat auprès des acteurs. Le partenariat risquerait alors de détourner le processus de recherche vers des projets de développement déconnectés d'un processus de recherche ou à l'inverse de devenir une sorte d'habillage. Ceci renvoie à la question de la gouvernance de tels processus de recherche en partenariat et en particulier à la posture du chercheur.

5.2.3 Posture du chercheur dans notre démarche en partenariat

Dans notre démarche, la posture du chercheur et du collectif de chercheur peut être questionnée puisqu'elle détermine fortement l'implication des acteurs (Soulard *et al.*, 2007) et donc les résultats qui ont émergé de la démarche. Selon ComMod (2005), la posture est vue comme « *la façon de se poser vis-à-vis de son objet d'étude pour mettre en œuvre une démarche qui est la façon d'agir/de s'engager* ». Dans notre démarche, le collectif de chercheurs est animateur du projet et de ce fait en est le médiateur en ce sens où il se trouve alors à l'interface entre différentes compétences. Nous avons pris conscience comme le suggéraient Soulard *et al.* (2007) que nous pouvions être vus uniquement comme des « *porteurs de savoir* » et que l'échange réel avec les acteurs n'était pas acquis de fait.

Au fur et à mesure de la thèse, acquérir une légitimité m'a permis d'obtenir un statut comparable à celui des autres acteurs en respectant leurs savoirs. Ceci a permis de co-construire avec eux des connaissances. Les agriculteurs se sont joints au groupe de réflexion pour la plupart d'abord « *par curiosité* ». Ils ont trouvé « *perturbant de ne pas savoir où ça allait* » mais sont néanmoins restés car ils « *ont été écoutés et ont pu tous s'exprimer* ». Leur implication et leur fidélité à la démarche ont été en lien direct avec le pilotage de la démarche par le collectif de chercheurs, qui a dû accepter une part d'imprévu pour laisser les partenaires s'exprimer. Par exemple, GSB a souhaité présenter lui-même nos résultats de simulation : ceci illustre son implication et la légitimité qu'il a pu éprouver pour le faire. En prenant la place d'animateur, il a permis aux autres agriculteurs de se sentir plus concernés et a ouvert un débat riche sur la base de son expérience propre de la démarche et d'un partage

d'expériences avec les autres. Ainsi, le chercheur est passé d'initiateur de la démarche à un participant comme les autres au moment de ce temps fort collectif.

Dans notre démarche, le chercheur a d'abord eu une posture d'expert avant de légitimement pouvoir adopter une posture post-normale au sens de Funtowicz et Ravetz (1991), c'est-à-dire permettant un dialogue entre chercheurs, décideurs et citoyens (Barreteau et al, 2010; Bousquet et al, 1999; ComMod, 2005). Dans ce type de travaux, le chercheur doit alterner en fonction des besoins de l'étude entre son rôle de chercheur avec une posture d'expert et son rôle d'animateur, porteur de la démarche adoptant une posture post-normale. Il entre alors dans une recherche impliquée en veillant à ne devenir ni un conseiller, ni un collègue, ce qui peut parfois être difficile à gérer selon les sujets abordés. Trouver la posture à adopter est assez particulier dans la conduite de tels projets en ce sens où ils intègrent une certaine part de risque avec des phénomènes imprévus qui font la recherche en partenariat (Soulard *et al.*, 2007 ; ComMod, 2005). Soulard *et al.* (2007) postulent que pour conduire ce type de démarche, les chercheurs doivent mêler à des compétences en recherche, un fort intérêt pour un travail appliqué et impliqué et une aptitude au dialogue.

Conclusion

La polyculture-élevage à l'échelle de l'exploitation permettrait de répondre à des enjeux de développement durable à travers le monde en permettant en particulier: i) au Sud, une augmentation de la productivité agricole en limitant les nuisances environnementales et ii) au Nord, de diminuer les externalités négatives de la production agricole en assurant une viabilité économique aux exploitations. Les intérêts potentiels cités expliquent un regain d'intérêt pour la polyculture-élevage au Nord.

La polyculture-élevage qui était traditionnelle en Europe a néanmoins largement laissé place à des exploitations spécialisées. Elle s'est maintenue dans certaines zones permettant une intensification limitée de la production : les zones dites défavorisées, où les agriculteurs ont peu suivi les incitations à l'intensification. Nous avons cherché à éclairer dans cette thèse les conditions du maintien d'exploitations de polyculture-élevage qui soient favorables à une durabilité de l'agriculture. Pour cela, nous avons construit une démarche, que nous avons appliquée à un cas d'étude réel : les Coteaux de Gascogne. Dans ce cas de zone défavorisée européenne, la polyculture-élevage représente encore la moitié des exploitations.

Nous avons d'abord vérifié que les intérêts potentiels de la polyculture-élevage pour une durabilité économique et environnementale se vérifiaient en moyenne sur notre cas d'étude. Notre évaluation économique et environnementale a néanmoins mis en lumière une large diversité entre les exploitations de polyculture-élevage. Ceci a confirmé un besoin de mieux appréhender la diversité des systèmes de production et des pratiques des agriculteurs. Pour cela, nous nous sommes proposé d'adopter une approche systémique.

Nous avons donc, dans un deuxième temps, éclairé la diversité des stratégies adaptatives passées permettant un maintien d'exploitations de polyculture-élevage hétérogènes jusqu'à présent. Nous avons éclairé les deux principaux facteurs de marginalisation de la polyculture-élevage en Europe: i) le manque de main d'œuvre agricole et ii) le développement agricole incitant à la spécialisation en lien avec la mondialisation des marchés et les orientations de la PAC. Parmi les quatre « chemins pour durer » qui ont permis un relatif maintien de la polyculture-élevage, deux types se sont avérés très dépendants de la disponibilité en main

d'œuvre agricole, actuellement limitante en Europe. Ainsi seuls les deux types de stratégies adaptatives restantes sont considérées favorables à une durabilité des exploitations de polyculture-élevage : « maximiser l'autonomie » et « diversifier les ateliers ».

Cette analyse des stratégies adaptatives est un matériau précieux pour l'analyse prospective que nous avons conduite dans un troisième temps. Deux scénarios techniques prospectifs ont été co-construits avec les agriculteurs en lien avec ces deux types de trajectoires. Le modèle CLIFS (Crop-Livestock Integrated Farming Simulator), développé au Cirad, a permis de les évaluer. Des bilans annuels offre-demande en alimentation et fertilisation ont été calculés à l'échelle de l'exploitation. Les modifications potentielles de l'organisation du travail ont été étudiées en lien avec la mise en œuvre des scénarios. Pour le type « maximiser l'autonomie », implanter des intercultures fourragères permettait de favoriser l'autonomie alimentaire du troupeau en maintenant la fertilité des sols. Pour le type « diversifier les ateliers », créer un atelier de finition permettait de mieux valoriser les génisses par rapport à des jeunes bovins maigres, en particulier par la vente directe. Ces scénarios ont été évalués selon deux contextes de changement politique et économique futurs.

Les innovations techniques ont permis de répondre aux enjeux de durabilité que nous souhaitions tester par simulations. En accord avec la littérature sur le sujet, ces innovations permettraient d'améliorer la flexibilité des exploitations mais ne permettraient pas de faire face à un changement brutal de contexte, comme dans le contexte politique et économique futur de type « globalisation », qui accentuerait les effets de la mondialisation à l'extrême. Les deux innovations retenues sont au carrefour des préoccupations des agriculteurs, techniciens et de la recherche pour favoriser le maintien de la polyculture-élevage. Elles s'inscrivent d'ailleurs dans des travaux émergents au niveau de la littérature internationale en lien avec des préoccupations environnementales de préservation de la qualité de l'eau et des sols par la mise en place d'intercultures, et avec des préoccupations économiques de l'élevage allaitant concernant la mise en place d'un atelier de finition.

La démarche mise en œuvre dans cette thèse est originale en ce sens où elle constitue un essai d'application empirique des principaux principes que mettent en avant les nouvelles théories de l'adaptation des exploitations vues comme des systèmes complexes adaptatifs. Ce

type d'approche nous semble pertinent pour la conception des systèmes agricoles en ce sens où la co-construction des questions permet de proposer des innovations intégrées en correspondance avec les logiques des agriculteurs et donc plus susceptibles d'être adoptées. L'implication de tous les acteurs a permis de croiser différentes connaissances empiriques, scientifiques et techniques via l'échange entre agriculteurs, conseillers et chercheurs. Les résultats ainsi obtenus sont dès lors profitables autant aux chercheurs qu'aux partenaires. Cette thèse nous a ainsi permis de mettre en lien les cadres de l'adaptation déclinés aux exploitations agricoles avec les préoccupations concrètes d'acteurs locaux sur la question du maintien de la polyculture-élevage sur le temps long. Cette démarche est donc une contribution à un réel défi méthodologique car si ces principes sont souvent évoqués dans des articles théoriques, peu d'études en ont proposé une application concrète.

Perspectives :

i) Du point de vue de la recherche, certains facteurs n'ont pas été pris en compte dans cette thèse alors qu'ils sont considérés comme des facteurs importants pour l'avenir des exploitations. Le climat pourrait être pris en compte en couplant notre démarche avec des modèles traitant explicitement de la variabilité climatique. Des scénarios de contexte futurs pourraient aussi intégrer le changement climatique. La transmission des exploitations a été pointée comme préoccupante par rapport à l'avenir des exploitations de polyculture-élevage. Des analyses pourraient prendre en considération le manque de main d'œuvre agricole pour proposer des adaptations de l'organisation du travail et plus généralement du fonctionnement de l'exploitation.

ii) Du point de vue du développement, l'investissement nécessaire pour mettre en place ce type de démarche est une limite importante. Comme nous l'avons vu, un collectif de chercheurs a été impliqué depuis plusieurs années pour contribuer à la collecte des données et à la mise en place du partenariat, qui servent de base à cette thèse. Une simplification de la démarche permettrait une plus grande répétabilité de ce type d'approche. Le recueil des données pourrait par exemple être simplifié en tenant compte des connaissances locales déjà acquises par les conseillers.

iii) Une telle simplification de la démarche permettrait de l'appliquer à d'autres conditions régionales pour mieux appréhender la contribution potentielle de la polyculture-élevage au développement durable en Europe. Aboutir à des résultats plus génériques permettrait par exemple de proposer des nouvelles orientations politiques, ce qui serait un levier important pour contribuer au maintien de la polyculture-élevage. Si l'influence de la PAC sur le non-maintien de la polyculture-élevage a été mise en évidence, des incitations politiques en faveur de la polyculture-élevage pourraient a contrario être un levier pour favoriser son maintien. Favoriser une durabilité environnementale de l'agriculture européenne, économe en intrants et se fondant sur les services écosystémiques, pourrait justifier de telles politiques. Des aides à la diversification incitant à la conduite d'ateliers coordonnés de cultures et d'élevage et favorisant l'autonomie pourraient être testées.

Références bibliographiques

- Agreste 2010. *Agreste- Rapports Publics - RICA Réseau d'Information Comptable Agricole - Tableau standard RICA 2002-2008.*
- Agrimonde 2010. *Scénarios et défis pour nourrir le monde en 2050. Coordination éditoriale de Sandrine Paillard, Sébastien Treyer et Bruno Dorin, Collection Matière à débattre et décider, Editions Quae, 295 pp.*
- Albaladejo C et Casabianca F 1997. *La recherche-action. Ambitions, pratiques, projets. Études et recherche sur les systèmes agraires et le développement, 30, 127-149.*
- Altieri M and Rosset P 1996 *Agroecology and the conversion of large-scale conventional systems to sustainable management, Int. J. Env. Studies 50, 165–185.*
- Andrieu N and Nogueira DM 2010. *Modeling biomass flows at the farm level: a discussion support tool for farmers. Agron. Sustain. Dev. 30 (2), 505-513.*
- Antrop M 2005. *Why landscapes of the past are important for the future? Landscape and Urban Planning 70(1), 21-34.*
- Argyris C and Schön, DA 1996. *Organizational Learning: A Theory of Action Perspective, Addison, Wesley Publishing Company.*
- Astigarraga L and Ingrand S 2011. *Production flexibility in extensive beef farming systems. Ecology and Society 16(7)*
[online:<http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art7/>].
- Barreteau O, Bots PWG, Daniell KA 2010. *A framework for clarifying “participation” in participatory research to prevent its rejection for the wrong reasons. Ecology and Society 15(2):1*
- Bassanino M, Grignani C, Sacco D and Allisiardi E 2007. *Nitrogen balances at the crop and farm-gate scale in livestock farms in Italy. Agriculture, Ecosystems & Environment 122, 282-294.*
- Bell LW et Moore AD 2012. *Integrated crop–livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications; Agricultural systems*
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2012.04.003>,
- Belland C 2011. *Etude de l'influence des marchés et des politiques publiques agricoles sur la dynamique des systèmes de polyculture-élevage dans les Coteaux de Gascogne. Master Pro ERG Agrocampus-Ouest, 68pp.*
- Benoit M and Veyssset P 2003. *Conversion of cattle and sheep suckler farming to organic farming: adaptation of the farming system and its economic consequences. Livest. Prod. Sci., 80, 141-152.*

- Béranger C, Compagnone C, Évrard P et Bonnemaire J. 2002. *Recherche, agriculture, territoires : quels partenariats ? Rapport, Inra, Paris, 88 pp.*
- Börjeson L, Höjer M, Dreborg KH, Ekvall T and Finnveden G 2006. *Scenario types and techniques: Towards a user's guide, Futures 38 (2006) 723–739.*
- Bousquet F, Barreteau O, Le Page C, Mullon C and Weber J 1999. *An environmental modeling approach: the use of multi-agent simulations. In F. Blasco, and A. Weill, editors. Advances in environmental and ecological modelling. Elsevier Science, Paris, France, pp. 113–122*
- Brossier J, de Bonneval L, Landais E 1993. *Systems Studies in Agriculture and Rural Development. INRA Editions, Paris, 413 pp.*
- Brundtland GH et Khalid 1987. *Notre avenir à tous, Commission mondiale de l'environnement et du développement M.Editions du Fleuve, 432 pp.*
- Capillon A. et Manichon H. 1979. *Une typologie des trajectoires d'évolution des exploitations agricoles (principes, application au développement agricole régional), Comptes-rendus des séances de l'Académie d'Agriculture de France, pp. 1168 - 1178.*
- Capillon A, Sebillote M et Thierry J. 1975. *Evolution des exploitations d'une petite région: élaboration d'une méthode d'étude, 56 pp.*
- Carberry PS, Hochman Z, McCown RL, Dalgliesh NP, Foale MA, Poulton PL, Hargreaves JNG, Hargreaves DMG, Cawthray S, Hillcoat N, Robertson MJ 2002 *The FARMSCAPE approach to decision support: farmers', advisers', researchers' monitoring, simulation, communication and performance evaluation. Agr Syst 74, 141–177*
- Cerf M, Damay J et Simier JP 1987. *La typologie des exploitations, revue des Chambres d'Agriculture, Supplément au n°743, pp. 1-52.*
- Chatellier V et Guyomard H 2008. *Le bilan de santé de la PAC, le découplage et l'élevage en zones difficiles. INRA Sciences Sociales Recherches en Economie et Sociologie Rurales 6, 1-8.*
- Chia E et Marchenay M 2008. *Un regard des sciences de gestions sur la flexibilité : enjeux et perspectives. In Dedieu B, Chia E, Leclerc B and Moulin CH (eds) L'élevage en mouvement : flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores Editions Quae, Paris, pp. 23-36.*
- Choisis JP, Thévenet C and Gibon A 2012. *Analyzing farming systems diversity: a case study in south-western France. Span J Agric Res 10(3)*
- Choisis JP, Sourdril A, Deconchat M, Balent G and Gibon A 2010. *Understanding regional dynamics of mixed crop-livestock agricultural systems to support rural development in South-western France uplands. Cahiers Agriculture 19(2), 97-103*

- Cialdella N, Dobremez L and Madelrieux S 2009. Livestock farming systems in urban mountain regions. Differentiated paths to remain in time. *Outlook on Agriculture* 38, 127-135.
- Cochet H and Devienne S 2006. Operation and economic performance of farming systems: a regional approach. *Cah. Agric* 15(6), 578–583.
- ComMod 2005. La modélisation comme outil d'accompagnement. *Natures Sciences Sociétés* 13, 165-168.
- Coquil X, Béguin P and Dedieu B 2011. Systèmes de polyculture élevage laitiers évoluant vers l'AB et l'autonomie : un renforcement des interfaces cultures/élevage. In: colloque de la SFER, les transversalités de l'Agriculture Biologique, 18 pp.
- Coquil X, Blouet A, Fiorelli JL, Bazard C et Trommenschlager JM 2009. Conception de systèmes laitiers en agriculture biologique : une entrée agronomique. *INRA Prod. An.* 22, 221-234
- Darnhofer I, Bellon S, Dedieu B and Milestad R 2010. Adaptiveness to enhance the sustainability of farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30, 545–555.
- Dedieu B 2009. Qualification of the adaptive capacities of livestock farming systems. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38, 397-404.
- Dedieu B et Ingrand S 2010. Incertitude et adaptation. Cadres théoriques et application à l'analyse de la dynamique des systèmes d'élevage. *Inra Productions Animales* 23 (1), 81-90
- Dedieu B, Faverdin P, Dourmad JY et Gibon A 2008. Système d'élevage, un concept pour raisonner les transformations de l'élevage. *INRA Productions Animales* 21(1), 45-58.
- Dedieu B et Servière G 1997. La méthode Bilan Travail et son application. *Options Méditerranéennes, Série A* 38, 353-364.
- Devendra C. 2001. Crop-animal systems in Asia: future perspectives. *Agricultural Systems* 71, 179-186.
- Devendra C and Thomas D 2002. Crop-animal interactions in mixed farming systems in Asia. *Agricultural Systems* 71, 27-40.
- Devendra C and Thomas D 2001. Smallholder farming systems in Asia. *Agricultural Systems* 71, 17-25.
- de Wit J., Prins U., and Baars T 2006. Partner Farms : experiences with livestock farming systems research support intersectoral cooperation in the Netherlands. *Livestock farming systems: Product quality based on local resources leading to improved sustainability* EAAP Publications 118, 317-322.
- Dobremez L et Bousset JP 1996. *Rendre compte de la diversité des exploitations agricoles. Une démarche d'analyse par exploration conjointe de sources statistiques, comptables et technico-économiques.* Gestion du territoire n°17, Editions du Cemagref, 318 pp.

- Dolédec S et Chessel D 1987. Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. I- Description d'un plan d'observations complet par projection de variables. *Acta Oecologica, Oecologia Generalis* 8(3), 403–426.
- Dufumier M 2006. Diversité des exploitations agricoles et pluriactivité des agriculteurs dans le Tiers-Monde. *Cahiers Agriculture* 15 (6), 584-588.
- Dugué P, Vall E, Lecomte P, Klein HD et Rollin D 2004. Evolution des relations entre l'agriculture et l'élevage dans les savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre : Un nouveau cadre d'analyse pour améliorer les modes d'intervention et favoriser les processus d'innovation. *Oléagineux corps gras lipides*, 11 (4-5) : 268-276.
- Entz MH, Baron VS, Carr PM, Meyer DW, Smith SR Jr and McCaughey WP 2002. Potential of forages to diversify cropping systems in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 94, 240-250.
- European Commission 1999. *Specialised holdings and more intensive practices*. Retrieved April 3 2012 from ec.europa.eu/agriculture/envir/report/en/expl_en/report.htm
- Ewing MA and Flugge F 2004. The benefits and challenges of crop-livestock integration in Australian agriculture. In T. Fisher et al. (ed.) *New directions for a diverse planet. Proc. 4th Int. Crop Sci. Congr., 26 Sept. to 1 Oct 2004, Brisbane, Australia. The Regional Institute, Gosford, NSW, Australia.*
- Faggion CL 2009. *Relations entre organisation spatiale des exploitations agricoles et systèmes de production dans les Coteaux de Gascogne. Mémoire ingénieur, Ecole d'Ingénieurs de Purpan, Toulouse, 91 pp.*
- Fahrig L, Baudry J, Brotons L, Burel FG, Crist TO, Fuller RJ, Sirami C, Siriwardena GM and Martin JL 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters* 14, 101-112.
- FAO 2012. *World Agriculture Toward 2030/2050. ESA Working Paper 12 03. Available at : <http://www.fao.org/economic/esa/esag/en/>*
- FAO 1995. *Digital Soil Map of the World and Derived Soil Properties. Land and Water Digital Media Series 7, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.*
- Franzluebbers AJ and Stuedemann JA 2007. Crop and cattle responses to tillage systems for integrated crop-livestock production in the Southern Piedmont, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems* 22(3), 168-180.
- Funtowicz SO and Ravetz JR 1991. *A new scientific methodology for global environmental issues. In R. Costanza, ed. , Ecological Economics : The Science and Management of Sustainability. New York : Columbia University Press., pp 137-152.*
- Garcia-Martinez A, Olaizola A and Bernués A 2008. Trajectories of evolution and drivers of change in European mountain cattle farming systems. *Animal* 3, 152-165.

- Gaigné C, Chatellier V et Bossuat H 2012. *Logique économique de la spécialisation productive des territoires agricoles* In: CIAG, *Associer productions animales et végétales pour des territoires agricoles performants*, 24 octobre 2012, Poitiers, France.
- Gibon A 2011a. CHAPAY, *Changement d'utilisation agricole des terres et dynamique des paysages agri-forestiers de Midi-Pyrénées*, *Projet PSDR, Région Midi-Pyrénées, Série Les 4 pages PSDR3*, 4 pp.
- Gibon A, Ryschawy J, Schaller N, Blouet A, Coquil X, Martin P, Fiorelli JL, Havet A et Martel G 2011b. *L'élevage, un atout pour le développement durable des territoires dans les régions de polyculture-élevage*. In *Renc. Rech. Ruminants*, 18, pp 369-372.
- Gibon A, Sheeren D, Monteil C, Ladet S, Balent G 2010. *Modelling and simulating change in reforesting mountain landscapes using a social-ecological framework*. *Landscape Ecol.* 25 (2), 267-285
- Gibon A and Hermansen JE 2006. *Sustainability concept in Livestock Farming System research orientations*. In *57th Annual Meeting of the EAAP, Antalya, Turkey, 17-20 Septembre 2006*.
- Gibon A, Balent G, Olaizola A et Di Pietro F 1999a. *Approche des variations communales des dynamiques rurales au moyen d'une typologie: cas du versant nord des Pyrénées Centrales*. *Options Méditerranéennes* 27(B), 15-34.
- Gibon A, Sibbald AR, Flamant JC, Lhoste P, Revilla R, Rubino R and Sorensen JT 1999b. *Livestock farming systems research in Europe and its potential contribution for managing towards sustainability in livestock farming*. *Livestock Production Science* 61, 121-137
- Gliessman SR 1995. *Sustainable agriculture: an agroecological perspective*. In: Andrews, J.H., and I.C. Tommerup (eds.), *Advances in Plant Pathology Volume 11*, 45-56
- Griffon M 2009. *Pour des agricultures écologiquement intensives, des territoires à haute valeur environnementale et de nouvelles politiques agricoles*. *Éditions de l'Aube et Conseil général des Côtes d'Armor*, 109 pp.
- Guthman J 2000. *An agro-ecological assessment of grower practices in California*, *Agr. Human Values* 17, 257–266.
- Hendrickson JR, Hanson JD, Tanaka DL and Sassenrath GF 2008a. *Principles of integrated agricultural systems : Introduction to processes and definition*. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23(4), 265-271.
- Hendrickson JR, Liebig MA and Sassenrath GF 2008b. *Environment and integrated agricultural systems*. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23(4), 304-313.
- Hendrickson JR, Sassenrath GF, Archer D, Hanson JD and Halloran J 2008c. *Interactions in integrated US agricultural systems : The past, present and future*. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23(4), 314-324.

- Herrero M, Thornton PK, Notenbaert AM, Wood S, Msangi S, Freeman HA, 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.
- Hervieu B, Flamant JC, de Jouvenel H 2003. INRA 2020. *Alimentation, agriculture, environnement : une prospective pour la recherche*. Rapport Inra, Paris, 260 pp.
- Hill MO and Smith AJE 1976. *Principal component analysis of taxonomic data with multi-state discrete characters*. *Taxon* 25, 249-255.
- Holling CS 2001. *Understanding the Complexity of Economic, Ecological and Social Systems* 4(5), 390-405.
- Ingrand S, Bardey H, Brossier J 2007. *Flexibility of suckler cattle farms in the face of uncertainty within beef industry: a proposed definition and an illustration*. *Journal of Agricultural Education and Extension* 13(1), 39-48.
- Joannon A, Bro. E, Thenail C and Baudry J 2008. *Crop patterns and habitat preferences of the grey partridge farmland bird*. *Agronomy for Sustainable Development*. 28 (3), 379-387
- Justes E, Beaudoin N, Bertuzzi P, Charles R, Constantin J, Dürr C, Hermon C, Joannon A, Le Bas C, Mary B, Mignolet C, Montfort F, Ruiz L, Sarthou JP, Souchère V, Tournebize J, Savini I, Réchauchère O 2012. *Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires : conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques*. Synthèse du rapport d'étude, INRA, 60 pp.
- Kates RW et Parris TM 2005. *What is Sustainable Development? Goals, Indicators, Values, and Practice Environment* 47(3), 8-21
- Kelemen E, Nguyen G, Gomiero T, Kovács E, Choisit JP, Choisit N, Paoletti MG, László P, Ryschawy J, Sarthou JP, Balázs K 2012. *Farmers' perceptions on biodiversity: Lessons learnt from a discourse-based qualitative valuation study*. Submitted to *Land Use Policy*
- Khakbazan M, Moulin AM, Coulthard L, and Nagy CN 2009. *Alfalfa as a Diversification Option for Grain Farms in Western Canada*. *Journal of International Farm Management* 4(4), 1-10.
- Kristensen ES and Halberg N 1997. *A system approach for assessing sustainability in livestock farms? EAAP Publication*, 89, 16-30.
- Kruska RL, Reid RS, Thornton PK, Henninger N and Kristjanson PM 2003. *Mapping livestock-oriented agricultural production systems for the developing world*. *Agricultural Systems* 77, 39-63.
- Lamine C and Bellon S 2008. *Conversion to organic farming: a multidimensional research object at the crossroads of agricultural and social sciences. A review*. *Agronomy for Sustainable Development* 29(1), 97-112.

- Landais E 1998. *Agriculture durable : les fondements d'un nouveau contrat social* Le Courrier de l'environnement de l'INRA n°33
- Landais E and Deffontaines JP 1988. *Les pratiques des agriculteurs : Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. Etudes Rurales* 109, 128-130.
- Laurent C et Rémy J 2000. *L'exploitation agricole en perspective, Le Courrier de l'Environnement de l'INRA* 41, 5-24.
- Le Gal PY, Andrieu N, Dugué P, Kuper M, Sraïri MT 2011a. *Des outils de simulation pour accompagner des agroéleveurs dans leurs réflexions stratégiques. Cahiers Agricultures* 20(5), 413-420.
- Le Gal, PY, Dugué P, Faure G, Novak S 2011b *How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level: a review. Agricultural Systems* 104, 714–728.
- Lemaire G, Benoît M, Vertes F 2003. *Rechercher de nouvelles organisations à l'échelle du territoire pour concilier autonomie protéique et préservation de l'environnement. Fourrages*, 175, 303-318.
- Lémery B 2000. *Les agriculteurs dans la fabrique d'une nouvelle agriculture. Sociologie du travail* 45, 9–25.
- Lémery B, Ingrand S, Dedieu B et Degrange B 2005. *Agir en situation d'incertitude : le cas des éleveurs bovins allaitants. Economie Rurale* 288, 57-69.
- Le Moigne, J. L., 1977. *La théorie du système général*, PUF, Paris, 258 pp.
- Lenné JM and Thomas D 2006. *Integrating crop-livestock research and development in Sub-Saharan Africa: Option, imperative or impossible? Outlook on Agriculture* 35 (3), 167-175.
- Lenné JM, Fernandez-Rivera S and Blümmel M 2003. *Approaches to improve the utilization of food-feed crops--synthesis. Field Crops Research* 84, 213-222.
- Lhoste P. 2004. *Les relations agriculture-élevage. Oléagineux, Corps Gras, Lipides* 11, 253-255.
- Lockeretz W and Stopes C 1999. *Issues in on-farm research. In Second European Workshop on Research Methodologies in Organic Farming, Bari, Italy. Workshop on Research Methodologies in Organic Farming, September 1999, Bari, Italy. In on-farm Participatory Research, REU Technical Series* 63 (2000).
- Martin G 2009. *Analyse et conception de systèmes fourragers flexibles par modélisation systémique et simulation dynamique. Thèse de doctorat. INP Toulouse*, 175 pp.
- Martin G, Martin-Clouaire R and Duru M 2012. *Farming system design to feed the changing world: a review. Agronomy for Sustainable Development* 32. doi: 10.1007/s13593-011-075-4

- Martin G, Felten B, Duru M 2011b. *Forage rummy: a game to support the participatory design of adapted livestock systems. Environ Modell Softw 26, 1442-1453*
- Martin G, Martin-Clouaire R, Rellier JP, Duru M 2011a. *A simulation framework for the design of grassland-based beef-cattle farms. Environ Modell Softw 26:371-385*
- Matthews KB, Rivington M, Blackstock K, McCrum G, Buchan K, Miller DG 2011. *Raising the bar? – The challenges of evaluating the outcomes of environmental modelling and software. Environ Modell Softw 26, 247–257*
- Mazoyer M et Roudart L 1997. *Histoire des agricultures du monde. Du Néolithique à la crise contemporaine. Nouvelle édition revue et augmentée dans la collection Pont Histoire, Seuil, Paris, 2002, 705 p.*
- Meinke H, Howden SM, Struik PC, Nelson R, Rodriguez D, Chapman SC 2009. *Adaptation science for agricultural and natural resource management- Urgency and theoretical basis. Curr. Opin. Environ. Sustain 1, 69-76*
- Meynard JM 2012. *Conclusion In: CIAG, Associer productions animales et végétales pour des territoires agricoles performants, 24 octobre 2012, Poitiers, France.*
- Meynard JM, Dedieu B et Bos AP 2012. *Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. In Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic. edited by Ika Darnhofer, David Gibbon, and Benoit Dedieu, Springer Netherlands, pp. 405-429.*
- Meynard, JM and F Casabianca 2011. *Agricultural systems and the innovation process. In: R. Bouche, A. Derkimba, and F. Casabianca (Eds.). New trends for innovation in the Mediterranean animal production. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, pp. 17–26.*
- Milestad R and Darnhofer I 2003. *Building farm resilience: the prospects and challenges of organic farming. Journal of Sustainable Agriculture 22(3), 81-97.*
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Summary for decision makers. In Ecosystems and Human Well-being: Synthesis 1-24. Washington, D.C.: Island Press, 24pp.*
- Mosnier C, Agabriel J, Lherm M and Reynaud A 2009. *A dynamic bio-economic model to simulate optimal adjustments of suckler cow farm management to production and market shocks in France. Agr Syst 102, 77-88*
- Mottet A, Ladet S, Coqué N and Gibon A 2006. *Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees. Agriculture, Ecosystems & Environment 114, 296-310.*
- Moulin CH, Ingrand S, Lasseur J, Madelrieux S, Napoléone M, Pluvinage J and Thénard V 2008. *Comprendre et analyser les changements d'organisation et de conduite de l'élevage dans un ensemble d'exploitations : propositions méthodologiques. In Dedieu B, Chia E,*

- Leclerc B and Moulin CH (eds) *L'élevage en mouvement : flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores* Editions Quae, Paris, France. pp. 181-196.
- Mulaik SA 1993. *Objectivity and Multivariate Statistics. Multivariate Behavioral Research* 28(2), 171-203
- Norman DW 2002. *The farming systems approach: A historical perspective. In: 17th Symposium of the International Farming Systems Association, 17–20 Nov. 2002, Lake Buena Vista, Florida, USA.*
- Osty, PL 1978. *L'exploitation agricole vue comme un système. Diffusion de l'innovation et contribution au développement, Bulletin Technique d'Information* 326, 43-49.
- Papy F. 2001. *Interdépendance des systèmes de culture dans l'exploitation agricole. Modélisation des agro-systèmes et aide à la décision. Editions CIRAD-INRA, collection Repères, pp. 51-74.*
- Peyraud JL, Delaby L, Dourmad JY, Faverdin P, Morvan T et Vertes F 2012. *Les systèmes de polyculture élevage pour bien valoriser l'azote. In: CIAG, Associer productions animales et végétales pour des territoires agricoles performants, 24 octobre 2012, Poitiers, France.*
- Powell JM, Pearson RA and Hiernaux PH 2004. *Crop-Livestock Interactions in the West African Drylands. Agronomy Journal* 96, 469-483.
- Powell JM and Williams TO 1995. *An overview of mixed farming systems in sub-Saharan Africa. p. 21-36. JM Powell, R Fernandez-Rivera, TO Williams and C Renard, Editors, Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of sub-Saharan Africa, ILCA, Addis Ababa, Ethiopia.*
- R Development Core Team, 2011. *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, available at: <http://www.R-project.org>.*
- RICA 2007. *Réseau d'Information Comptable Agricole - FADN Public database 2011. Retrieved August 12, 2011 from <http://ec.europa.eu/agriculture/rica/database>*
- Röling N and Wagemakers MAE 1998. *Facilitating sustainable agriculture. Participatory learning and adaptive management in times of environmental uncertainty. Cambridge University Press, Cambridge, 318 pp.*
- Romera AJ, Morris ST, Hodgson J, Stirling WD and Woodward SJR 2004 *A model for simulating rule-based management of cow-calf systems. Comp Elec Agr* 42, 67-86.
- Rueff C, Choisis JP, Balent G and Gibon A 2012. *A preliminary assessment of the local diversity of family farms change trajectories since 1950 in a Pyrenees mountains area. Journal of Sustainable Agriculture* 36 (5), 564-590.
- Russelle MP, Entz MH and Franzluebbbers AJ 2007. *Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. Agronomy Journal* 99, 325-334.

- Russelle MP and Franzluebbbers AJ 2007. *Introduction to Symposium : Integrated Crop-livestock Systems for Profit and Sustainability. Agronomy Journal* 99, 323-324.
- Ryschawy J, Choisis N, Choisis JP, Joannon A and Gibon A 2012a. *Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming? Animal* 6, 1722-1730.
- Ryschawy J, Choisis N, Choisis JP, Joannon A and Gibon A. 2012b. *Paths to last in mixed crop-livestock farming: lessons from an assessment of farm trajectories of change. Animal. doi:10.1017/S1751731112002091*
- Ryschawy J, Choisis JP, Joannon A, Gibon A and Le Gal PY. *Evaluating innovative scenarios to enhance sustainability of crop-livestock farms : a prospective process in partnership. In prep.*
- Schiere JB, Ibrahim MNM and van Keulen H 2002. *The role of livestock for sustainability in mixed farming :criteria and scenario studies under varying resource allocation. Agriculture, Ecosystems and Environment* 90, 139-153.
- Schiere H and Kater L 2001. *Mixed crop-livestock farming : a review of traditional technologies based on literature and field experiences. FAO Animal production and health paper, 73 pp.*
- Schneider F, Ledermann T, Fry P and Rist S 2010. *Soil Conservation in Swiss Agriculture – Approaching Abstract and Symbolic Meanings in Farmers’ Life-worlds. Land Use Policy* 27 (1), 332-339.
- Schön DA 1983. *The Reflective Practitioner; how professionals think in action. New York: Basic Books, 374 pp.*
- Scoones I 2009. *Livelihoods perspectives and rural development. Journal of Peasant Studies* 36(1), 171-196.
- Sebillotte M 2000. *Des recherches pour et sur le développement local : partenariat et transdisciplinarité, Revue d'économie régionale et urbaine* 3, 535-556.
- Séré C, Steinfeld H and Groenewold J 1996. *World livestock production systems: Current status. issues and trends. FAO Animal Production and Health Paper 127, Rome, 81 pp.*
- Siegmund-Schultze M, Rischkowsky B, da Veiga JB and King JM 2010. *Valuing cattle on mixed smallholdings in the Eastern Amazon. Ecological Economics* 69, 857-867.
- Simon C, Bigot G, Bommel E, Josien E, Théron O and Gibon A 2006. *Litterature Review of Scenarios methods. In : Rapport final du projet n°ANR-05-PADD-03 TRANS - Transformations de l'élevage et dynamiques des espaces, 80 pp*
- Simon JC, Grignani C, Jacquet A, Le Corre L, and Pagès J 2000. *Typology of nitrogen balances on a farm scale: research of operating indicators. Agronomy for Sustainable Development* 20 (2), 175-195.

- Simon JC and Le Corre L 1992. *Le bilan apparent de l'azote à l'échelle de l'exploitation agricole : Méthodologie, exemple de résultats*. *Fourrages* 129, 79-94.
- Soulard C, Compagnone C et Lémery B 2007. *La recherche en partenariat : entre fiction et friction*, in *Natures Sciences Sociétés* 15, p.13-22.
- Sourdril A 2008. *Territoire et hiérarchie dans une société à maison Bas-Commingeoise: permanence et changement*. Thèse de doctorat. Université Paris X Nanterre, 585 pp.
- Sourdril A and Ladet S 2008. *Le paysage d'une « société à maison » bas-commingeoise vu au travers des archives cadastrales et photographiques : quand ethnologie et géomatique s'en mêlent*. Retrieved 12 May 2011, from <http://ateliers.revues.org/document3332.html>.
- Sourdril A, Du Bus de Warnhaffe G, Deconchat M, Garine E and Balent G 2006. *From farm forestry to farm and forestry in South-Western France as a result of changes in a 'house-centred' social structure*. *Small-scale forest, economics, management, and policy* 5(1), 127-144.
- Steinfeld H, de Haan C and Blackburn H 1996. *Livestock and the environment : Issues and Options*. In Lutz E (ed.) *Agriculture and the environment: Perspectives on sustainable rural development*, pp 283-301.
- Swinton SM and Quiroz R 2003. *Is Poverty to Blame for Soil, Pasture and Forest Degradation in Peru's Altiplano?* *World Development* 31, 1903-1919.
- Tanaka DL, Karn JF and Scholljegerdes EJ 2007. *Integrated crop/livestock systems research : Practical research considerations*. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23(1), 80-86.
- Tarondeau JC 1999. *La flexibilité dans les entreprises*. *Que sais-je ? PUF*, 126 pp.
- Thomas D 2002. *Editorial*. *Agricultural Systems* 71, 1-4.
- Thompson PB and Nardone A 1999. *Sustainable livestock production : methodological and ethical challenges*. *Livestock Production Science* 61, 111-19.
- Thornton PK and Herrero M 2001. *Integrated crop-livestock simulation models for scenario analysis and impact assessment*. *Agricultural Systems* 70, 581-602.
- Thornton PK, Kristjanson PM and Thorne PJ 2003. *Measuring the potential impacts of improved food-feed crops: methods for ex ante assessment*. *Field Crops Research* 84, 199-212.
- Van der Ploeg JD, Laurent C, Blondeau F and Bonnafous P 2009. *Farm diversity, classification schemes and multifunctionality*. *Journal of Environmental Management* 90, 124-131.
- Van Keulen H and Schiere H 2004. *Crop-Livestock Systems: Old Wine in New Bottles? In New Directions for a Diverse Planet. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, September 2004. Brisbane, Australia*.
- Van Notten PWF, Rotmans J, van Asselt MBA and Rothman DS 2003. *An updated scenario typology*, *Futures* 35: 423-443

Vermersch D, 2007 L'éthique en friche, Editions QUAE INRA, collection update sciences and technologies 2007, Paris. 117pp.

Veysset P, Bebin D and Lherm M 2005. Adaptation to Agenda 2000 (CAP reform) and optimisation of the farming system of French suckler cattle farms in the Charolais area: a model-based study. Agricultural Systems 83, 179-202.

Voinov A and Bousquet F 2010. Modelling with stakeholders. Environ Modell Softw 25, 126-1281.

Wilkins RJ 2008. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences 363, 517-525.

PARTIE 2:

ARTICLES

Liste des publications insérées dans le manuscrit:

Article 1: Soumis aux Cahiers d'Agriculture

J. Ryschawy, A. Joannon and A. Gibon. La polyculture-élevage : enjeux et questions de recherche. Une revue.

Article 2: Publié dans Animal

J. Ryschawy, N. Choisis, J. P. Choisis, A. Joannon and A. Gibon 2012. Mixed crop-livestock systems : an economic and environmental-friendly way of farming? *Animal* 6 (10), pp 1722 - 1730

Article 3: Publié dans Animal

J. Ryschawy, N. Choisis, J. P. Choisis and A. Gibon 2012. Paths to last in mixed crop-livestock farming: lessons from an assessment of farm trajectories of change. *Animal*, doi:10.1017/S1751731112002091.

Article 4 : En préparation pour Agricultural Systems

J. Ryschawy, J. P. Choisis, A. Joannon, A. Gibon and P.Y. Le Gal. Evaluation participative de scénarios innovants pour renforcer la durabilité d'exploitations de polyculture-élevage. In prep.

Article 1 : La polyculture-élevage : enjeux et questions de recherche. Une revue

J. Ryschawy^a, A. Joannon^b et A. Gibon^a

^a INRA, UMR 1201 Dynafor, INPT/ENSAT, F-31326 Castanet-Tolosan.

^b INRA, UR 0980 SAD Paysage, F-35042 Rennes

Corresponding author: Julie RYSCHAWY. E-mail: julie.ryschawy@toulouse.inra.fr

Introduction

La modernisation de l'agriculture a conduit, sous l'influence des marchés mondiaux et des politiques publiques agricoles, à la spécialisation des systèmes agricoles (Antrop M., 2005, Chatellier et Guyomard, 2008). Les impacts négatifs de ce modèle international de développement sont aujourd'hui largement informés, au plan environnemental en particulier (Griffon, 2009 ; Vermersch, 2007). La polyculture-élevage est alors reconsidérée par de nombreux auteurs comme une alternative prometteuse à la spécialisation (Hendrickson *et al.*, 2008a, Russelle *et al.*, 2007, Russelle et Franzluebbbers, 2007, Wilkins, 2008). Associer productions animales et végétales à l'échelle de l'exploitation permettrait une durabilité économique et environnementale de l'agriculture et des territoires (Gibon *et al.*, 2011, Herrero *et al.*, 2010, Schiere *et al.*, 2002).

Les complémentarités fortes entre élevage et cultures via notamment le cycle des nutriments limiteraient en effet les pertes vers l'environnement (Hendrickson *et al.*, 2008b) tout en permettant une agriculture productive et économiquement viable. En ce sens, les exploitations de polyculture-élevage serait « éco-efficientes » (Wilkins, 2008), c'est-à-dire économiquement et écologiquement efficaces. Certains économistes considèrent d'ailleurs l'exploitation de polyculture-élevage comme l'archétype des coordinations entre cultures et élevage, fondé sur des économies de gamme générées par l'élaboration conjointe de diverses productions (Vermersch, 2007). Certains auteurs soulignent néanmoins des limites à la polyculture-élevage si les ateliers sont juxtaposés avec une faible coordination entre élevage

et cultures (Bell et Moore, 2012, Hendrickson *et al.*, 2008c, Schiere et Kater, 2001). Les intérêts et limites de la polyculture-élevage à l'échelle de l'exploitation sont synthétisés dans le tableau 1.

Ainsi, les conditions d'une polyculture-élevage favorable à un développement durable de l'agriculture doivent être précisées. Les articles de recherche portant sur la polyculture-élevage proposent néanmoins rarement une définition précise des systèmes de polyculture-élevage considérés. Dans cet article, nous dresserons un aperçu des définitions possibles de la polyculture-élevage à travers le monde en nous basant sur des synthèses bibliographiques sur le sujet. Nous préciserons ensuite les enjeux qui se rapportent à la polyculture-élevage. Nous examinerons ensuite comment la recherche actuelle s'empare de ces enjeux et chercherons à préciser des perspectives de recherche pour mieux prendre en compte les différents enjeux en lien avec la polyculture-élevage, mentionnés dans la bibliographie internationale.

1. La polyculture-élevage : un large panel d'agricultures

Le terme polyculture-élevage est classiquement et implicitement entendu selon une définition agronomique large : « l'association/intégration entre cultures et élevage dans un cadre coordonné, le plus souvent à l'échelle de l'exploitation agricole, bien que l'association puisse être considérée au niveau régional » (van Keulen et Schiere, 2004). Cette définition est adoptée non seulement par de nombreux agronomes à travers le monde (Powell *et al.*, 2004, Schiere et Kater, 2001) mais aussi par des économistes (Mazoyer et Roudart, 1997) ; Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008). Schiere et Kater (2001) ont mis en avant la nécessité de mettre l'accent sur la dimension fonctionnelle de la polyculture-élevage en précisant que : « dans la plupart des systèmes de polyculture-élevage, les effluents d'un atelier servent de ressource à un autre ».

Tableau 1 : Avantages et inconvénients de la polyculture-élevage à l'échelle de l'exploitation (inspiré de van Keulen et Schiere, 2004)

| Dimension | Avantages | Inconvénients |
|------------------|--|--|
| Sociale | Maintien du tissu rural – fonction sociale (Gibon <i>et al.</i> , 2011) | Cause potentielle de conflits d'usage des terres (Kruska <i>et al.</i> , 2003) |
| | Multifonctionnalité – conservation du paysage (Choisis <i>et al.</i> , 2010 ; Schiere <i>et al.</i> , 2002) | Sécurisation du capital via le troupeau (Thornton et Herrero, 2001 ; Herrero <i>et al.</i> , 2010) |
| | Emploi de la main d'œuvre familiale (van Keulen et Schiere, 2004) | Demande élevée et continue en main d'œuvre et organisation du travail pour gérer plusieurs ateliers (Hendrickson <i>et al.</i> , 2008b ; Ryschawy <i>et al.</i> , 2012b) |
| | Elevation du niveau de formation en lien avec un haut niveau de technicité des agriculteurs requis | Haut niveau de compétences requis sur plusieurs ateliers (Hendrickson <i>et al.</i> , 2008b) |
| Economique | Réalisation d'économies de gammes (Vermersch, 2007) – limitation des intrants achetés | Moins d'économies d'échelles permises (van Keulen et Schiere, 2004) |
| | Tampon par rapport aux fluctuations de marché des intrants et produits agricoles (Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008) | Besoin d'investissements importants et immobilisation d'un fort capital par rapport aux deux ateliers (Wilkins, 2008) |
| | Source diversifiée de revenus (Wilkins, 2008) | |

| Dimension | Avantages | Inconvénients |
|------------------|---|---|
| Environnementale | Tampon par rapport aux fluctuations du climat (van Keulen et Schiere, 2004) | |
| | Contrôle des risques d'érosion grâce au maintien de cultures fourragères annuelles ou permanentes (Havet A. <i>et al.</i> , 2010 ; ; Lenné <i>et al.</i> , 2003) | Risque d'érosion en cas de compaction des sols liés au surpâturage (Hendrickson <i>et al.</i> , 2008b, Russelle <i>et al.</i> , 2007) |
| | Optimisation du recyclage des nutriments en lien avec les flux biophysiques sur l'exploitation (Schiere <i>et al.</i> , 2002 ; Russelle <i>et al.</i> , 2007; Devandra et Thomas, 2002) | |
| | Utilisation moindre d'intrants pour l'alimentation des animaux et la fertilisation (Russelle <i>et al.</i> , 2007; Hendrickson <i>et al.</i> , 2008b) | |
| | Contrôle des maladies et ravageurs permis par des rotations variées (Russelle <i>et al.</i> , 2007) | Risque de maladies des cultures plus élevé par les transferts de fumure et de perte de productivité (Schiere <i>et al.</i> , 2002) |
| | Gestion plus flexible des rotations et de la fertilisation (van Keulen, 2007) | |

Les effluents d'élevage sont utilisés pour fertiliser les sols et améliorer la productivité des cultures, tandis que les co-produits de cultures servent à alimenter les troupeaux (Figure 1).

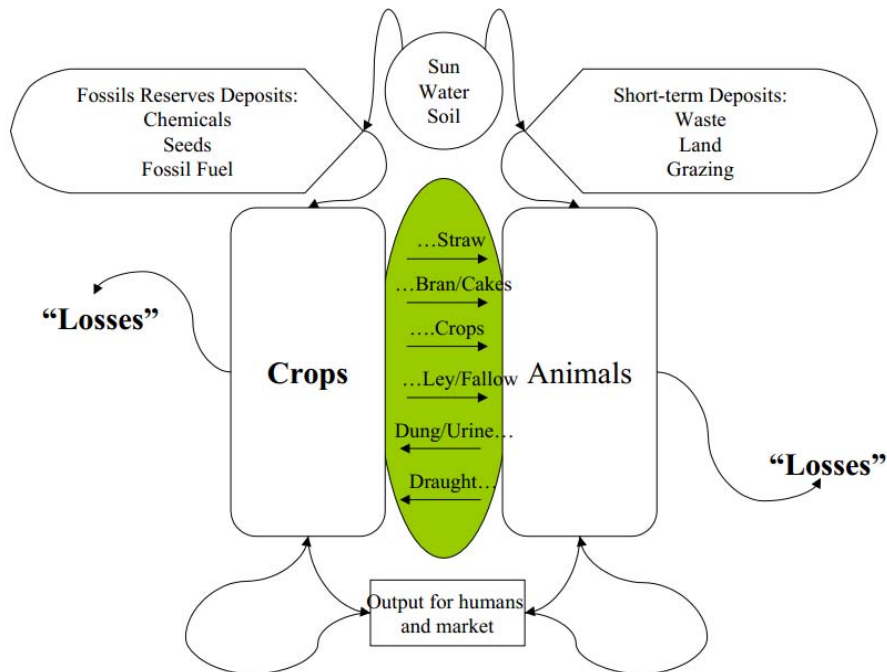


Figure 1 : Diagramme intégré des flux de ressources biophysiques au sein du système de polyculture-élevage (Schiere et al., 2002)

Ewing et Flugge (2005) soulignent néanmoins qu'une telle définition de la polyculture-élevage recouvre un large panel de stratégies à l'échelle de l'exploitation agricole en fonction du climat, des sols et des conditions sociales qui amènent à une très large variété d'agricultures. Cette définition intègre par exemple des exploitations vendant uniquement des productions animales mais autoproduisant leur alimentation (Schiere et al., 2002).

La prise en compte de la dimension économique permet de préciser la définition de la polyculture-élevage. Allier cultures et élevage est aussi reconnu pour sécuriser l'exploitation par rapport aux fluctuations des marchés agricoles (Bell et Moore, 2012 ; Vermersch, 2007). La commercialisation de produits agricoles diversifiés permet en effet de limiter les impacts négatifs d'un marché peu favorable pour une production. Les économistes (Seré. et al., 1996) ont intégré cette dimension dans leur définition de la polyculture-élevage. Ils ont proposé des valeurs-seuils permettant d'inclure ou non les exploitations en polyculture-

élevage. Selon eux, les exploitations de polyculture-élevage sont « des systèmes d'élevage dans lesquels plus de 10% de la matière sèche pour l'alimentation animale provient de co-produits végétaux de l'exploitation ou plus de 10% de la valeur produite provient d'activités agricoles autres que l'élevage ». La polyculture-élevage est alors définie selon un degré minimal d'intégration entre élevage et cultures et une diversification des produits commercialisés. Cette définition qui couple des bases agronomiques et économiques est largement reprise dans la bibliographie internationale (Devendra et Thomas, 2002, Ryschawy et al., 2012b ; Schiere et Kater, 2001 ; Thornton et Herrero, 2001, Thornton *et al.*, 2003).

Des classifications plus précises des systèmes de polyculture-élevage ont été proposées. Schiere *et al.* (2002) classent les systèmes répondant à la définition de Seré *et al.* (1996) parmi trois types d'agricultures reposant sur trois facteurs-clés : terre, travail et capital. Les systèmes classés en agriculture à bas intrants et agriculture de conservation se basent sur des interactions fortes entre cultures et élevage permettant une utilisation efficiente des ressources. Les systèmes d'agriculture à forts intrants correspondent en revanche à la juxtaposition d'ateliers spécialisés ayant un recours intensif aux intrants. Cette classification permet alors d'analyser la pertinence des systèmes de polyculture-élevage en lien avec le niveau d'intégration cultures-élevage et par rapport à l'environnement. Herrero *et al.*, (2010) ont eux aussi proposé une définition des systèmes de polyculture-élevage selon leur degré d'intensification et les ont décrits suivant leur localisation à travers le monde. Ewing et Flugge (2005) soulignent aussi l'importance de donner une définition localisée de la polyculture-élevage. Les enjeux des exploitations de la polyculture-élevage peuvent être en effet contrastés selon leur localisation dans les pays dits du Nord et les pays dits du Sud.

2. Quels enjeux pour la polyculture-élevage au niveau mondial?

2.1. Une place de la polyculture-élevage différente entre pays du Sud et du Nord

La polyculture-élevage représente à travers le monde la plus importante catégorie de systèmes agricoles intégrant de l'élevage, en nombre de têtes, productivité et nombre de personnes employées (Thornton *et al.*, 2010). Ce type d'agriculture produit environ la moitié de l'alimentation mondiale selon Herrero *et al.* (2010). Les exploitations de polyculture-

élevage se sont principalement développées au sud, où elles constituent actuellement l'une des formes prédominantes d'agriculture (Herrero *et al.*, 2010). La polyculture-élevage est dominante dans trois grandes zones du monde en développement (Schiere et Kater, 2001) : l'Afrique du Sud-Ouest (Dugué P. *et al.*, 2004), l'Asie du Sud-Est (Devendra et Thomas, 2001) et, dans une moindre mesure, en Amérique du Sud (Siegmund-Schultze *et al.*, 2010). Les exploitations de polyculture-élevage y pratiquent majoritairement une agriculture d'autosubsistance, même si certaines ont évolué en exploitations marchandes de taille moyenne en Asie et en Amérique du Sud (Dufumier, 2006).

Dans les pays du Nord, en revanche, les exploitations de polyculture-élevage d'autosubsistance, traditionnelles des années 1950 (Mazoyer et Roudart, 1997), ont laissé place à des exploitations spécialisées. En Europe, le nombre d'exploitations de polyculture-élevage a diminué de 70% entre 1975 et 1995 (European Commission, 1999). Cette tendance semble se poursuivre en France (Agreste, 2009). Les incitations de la PAC et des marchés cumulés à une diminution de la main d'œuvre agricole ont largement marginalisé ce type d'exploitations (Vermersch, 200 ; Wilkins, 2008). Les exploitations de polyculture-élevage restantes se sont modernisées et ont évolué en exploitations marchandes (Dufumier, 2006). Leur maintien est principalement observé dans des zones dites défavorisées dans lesquelles les agriculteurs n'ont pas suivi les incitations à la spécialisation (Darnhofer *et al.*, 2010). Le contexte pédoclimatique y était peu favorable à une spécialisation en grandes cultures bien qu'en permettant tout de même la production ; l'élevage de ruminants y était culturel. Ainsi, des exploitations de polyculture-élevage se sont maintenues dans le Dakota nord ou au sud-est des Etats-Unis (Russelle *et al.*, 2007 ; Franzluebbbers, 2007; Hendrickson *et al.*, 2008c) ainsi que dans des zones de piémont européennes (Bassanino *et al.*, 2007, Choisis *et al.*, 2010).

2.2. Des enjeux transversaux autour de la polyculture-élevage

La localisation des systèmes de polyculture-élevage dans des contextes géopolitiques et pédo-climatiques contrastés conduit de fait à des problématiques de développement différentes entre les polycultures-élevages des pays du Nord et des pays du Sud (Schiere et Kater, 2001). Certains types d'enjeux sont néanmoins transversaux. Les enjeux de durabilité environnementale et économique sont en particulier cités dans toutes les zones (Tableau 2).

Tableau 2 : Enjeux principaux sur la polyculture-élevage (par zone recensées dans la littérature internationale)

| Dimension | Enjeu principal | Hémisphère nord | Asie du Sud-Est | Afrique sub-saharienne | Amérique latine |
|------------------|--|---|--------------------------|--|-----------------------------|
| Sociale | Mieux valoriser les ressources : travail, terre, capital | Hendrickson <i>et al.</i> , 2008b ; Schiere et Kater., 2001 | Devendra et Thomas, 2001 | Thornton <i>et al.</i> , 2003 ; Powell <i>et al.</i> , 2004 ; Dugué <i>et al.</i> , 2004 | |
| | Assurer le plein emploi de la main d'œuvre familiale | | Devendra et Thomas, 2002 | Thornton <i>et al.</i> , 2003 ; Powell <i>et al.</i> , 2004 | Dufumier, 2006 |
| | Adapter le système à la main d'œuvre agricole disponible | Hendrickson <i>et al.</i> , 2008c ; Franzluebbers, 2007 | | | Le Gal <i>et al.</i> , 2011 |
| | Réduire la pénibilité du travail | | | Dugué <i>et al.</i> , 2004 | Lhoste, 2004 |
| | Assurer un revenu suffisant | | | Thornton et Herrero, 2001 ; Powell et Williams, 1995 | Lhoste, 2004 |

| Dimension | Enjeu principal | Hémisphère nord | Asie du Sud-Est | Afrique sub-saharienne | Amérique latine |
|------------------|--|---|-------------------------------|---|---|
| Economie | Diversifier les produits pour sécuriser l'exploitation | Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008 ; Russelle <i>et al.</i> , 2007 | Devendra et Thomas, 2001 | | Lhoste, 2004 ; Dufumier, 2006 |
| | Améliorer la qualité et la quantité des produits obtenus | Russelle <i>et al.</i> , 2007 ; Wilkins, 2008 | Devendra <i>et al.</i> , 1997 | Powell <i>et al.</i> , 2004 ; Lenné et Thomas, 2006 | |
| | Minimiser les intrants pour augmenter les marges | Wilkins, 2008 ; Vermersch, 2007 ; Russelle <i>et al.</i> , 2007 | | | |
| | Maintenir la biodiversité locale tout en produisant de manière intensifiée | Hendrickson <i>et al.</i> , 2008a ; Russelle <i>et al.</i> , 2007 ; Griffon, 2009 | Devendra et Thomas, 2002 | Thornton et Herrero, 2001 ; Powell <i>et al.</i> , 2004 | Lhoste, 2004 ; Siegmund-Schultze <i>et al.</i> , 2010 ; Swinton and Quiroz, 2003 ; |
| | Maintenir ou améliorer l'autonomie des agriculteurs | Coquil <i>et al.</i> , 2011 ; de Wit J. <i>et al.</i> , 2006 | | | |

| Dimension | Enjeu principal | Hémisphère nord | Asie du Sud-Est | Afrique sub-saharienne | Amérique latine |
|------------------|--|---|-------------------------------|---|-----------------------------|
| Environnement | Limiter l'utilisation d'eau par l'agriculture | | Devendra et Thomas, 2001 | Le Gal <i>et al.</i> , 20011 | Le Gal <i>et al.</i> , 2011 |
| | Améliorer la complémentarité entre cultures et élevage | Russelle <i>et al.</i> , 2007 | Devendra et Thomas, 2001 | | |
| | Maintenir ou améliorer la qualité des sols | Franzluebbbers et Stuedemann, 2007 ; Entz <i>et al.</i> , 2002 | Devendra et Thomas, 2002 | Powell et Williams, 1995 ; Lenné <i>et al.</i> , 2003 | |
| | Gérer les rotations de manière optimale | Khakbazan <i>et al.</i> , 2009 ; Russelle <i>et al.</i> , 2007 ; Franzluebbbers et Stuedemann, 2007 | | | |
| | Minimiser les excès d'effluents d'élevage | Schiere <i>et al.</i> , 2002 ; Griffon, 2009 ; Russelle <i>et al.</i> , 2007 | | | |
| | Maintenir des surfaces en prairies naturelles | Lemaire <i>et al.</i> , 2003; Griffon, 2009 | Devendra <i>et al.</i> , 1997 | | |

Au niveau environnemental, les systèmes de polyculture-élevage peuvent allier production agricole et maintien de la biodiversité locale (par exemple Hendrickson *et al.*, 2008b ; Russelle *et al.*, 2007 ; Griffon, 2009 pour les pays du Nord ; Devendra et Thomas, 2002 pour l'Asie ; Thornton *et al.*, 2003 et Powell *et al.*, 2004 pour l'Afrique ou encore Siegmund-Schultze *et al.*, 2010 et Swinton et Quiroz, 2003 pour l'Amérique du Sud). Des études récentes pointent aussi un intérêt des systèmes de polyculture-élevage pour maintenir la qualité des sols sur le moyen terme (par exemple Schiere et Kater, 2001 au niveau international ; Russelle *et al.*, 2007 et Franzluebbers et Stuedemann, 2007 pour les Etats-Unis ; Wilkins, 2008 pour l'Europe ; Devendra et Thomas, 2002 pour l'Asie ; Lenné and Thomas D., 2006 ; Powell *et al.*, 2004 pour l'Afrique sub-saharienne).

Au niveau économique, les exploitations de polyculture-élevage semblent pouvoir assurer au nord comme au sud un revenu suffisant aux agriculteurs (Veysset *et al.*, 2005 ; Wilkins, 2008 pour les pays du Nord ; Dugué *et al.*, 2004 ; Lhoste P., 2004 ; Powell *et al.*, 2004 ; Thornton *et al.*, 2003 ; pour les pays du sud). Les exploitations de polyculture-élevage semblent présenter une meilleure viabilité économique à long terme en ce sens où elles permettent une sécurisation des revenus via la diversité des productions vendues. Elles présentent aussi une moindre sensibilité aux fluctuations du marché mondial des intrants, par l'élaboration conjointe de diverses productions : les économies de gamme (Russelle *et al.*, 2007 ; Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2006 pour les pays du Nord et Devendra et Thomas, 2002 ; Dufumier, 2006 ; Lhoste, 2004 pour les pays du Sud).

2.3. Des enjeux localisés, en lien avec les contextes géopolitiques

Comme nous l'avons souligné précédemment, certains enjeux fondamentaux auxquels la polyculture-élevage doit répondre sont contrastés entre pays du Nord et pays du Sud. Au Sud, l'augmentation de la production agricole régionale reste une préoccupation primordiale. L'amélioration de la productivité des systèmes de polyculture-élevage est alors vue comme une voie privilégiée de développement de l'agriculture (Dugué *et al.*, 2004). L'enjeu principal est alors de trouver les voies d'une intensification de la production agricole qui permette la subsistance des exploitations agricoles actuelles dans une économie de marché (Dufumier, 2006 ; Lhoste, 2004). Cette intensification pourrait alors offrir le plein emploi de la main

d'œuvre agricole familiale au sein de ces exploitations de polyculture-élevage (Devendra et Thomas, 2002 ; Dufumier, 2006 ; Powell et al., 2004 ; Thornton *et al.*, 2010). Elle pourrait même être la clé d'une sécurité alimentaire mondiale (Herrero *et al.*, 2010).

Dans le monde occidental, où la polyculture-élevage a été largement marginalisée, les enjeux de l'agriculture se sont en revanche déplacés, dès le début des années 1990, vers des questions de réduction des externalités environnementales négatives (Griffon, 2009). Les exploitations de polyculture-élevage sont reconnues pour limiter l'utilisation d'intrants et renforcer leur autonomie (Coquil *et al.*, 2009 ; Hendrickson *et al.*, 2008b ; Russelle *et al.*, 2007). Optimiser le recyclage des nutriments répond d'ailleurs à une préoccupation majeure au Nord : la gestion des ressources au sein des éco-systèmes (Griffon, 2009 ; van Keulen and Schiere, 2004). Le rôle multifonctionnel de la polyculture-élevage intégrant des ruminants pâturant des prairies permanentes est aussi reconnu (Gibon et al., 2011 ; Lemaire *et al.*, 2003 ; Veysset et al., 2005). Néanmoins, la polyculture-élevage nécessite une main d'œuvre importante (Bell et Moore, 2012 ; Hendrickson et al., 2008b), de moins en moins disponible en Europe (Dedieu et Servière, 1997) et ne correspond pas aux logiques d'économies d'échelles, promues par la PAC et les marchés agricoles (Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008). Ainsi, le maintien d'exploitations de polyculture-élevage serait un défi majeur au niveau européen.

3. Des enjeux abordés de manière inégale par la recherche

3.1. Un besoin de recherches sur les enjeux transversaux de la polyculture-élevage

Si la polyculture-élevage recouvre donc un large panel d'enjeux, les efforts de recherche pour y répondre sont très limités, en particulier dans les pays du Nord (Tanaka *et al.*, 2007). La plupart des synthèses recensées sur la polyculture-élevage l'abordent d'un point de vue théorique ou se basent sur des descriptions d'experts selon des zones agro-écologiques ciblées (Schiere et Kater, 2001 à l'international ; Devendra et Thomas, 2002 en Asie, Thornton et Herrero, 2001 en Afrique ; Russelle *et al.*, 2007 aux Etats-Unis). Elles mettent en avant un besoin de vision intégrée pour répondre aux enjeux de la polyculture-élevage, d'un point de vue d'agronomes (Russelle *et al.*, 2007 aux Etats-Unis ou Hendrickson *et al.*, 2008b) ou

d'économistes (Vermersch, 2007 ou Wilkins, 2008). Les systèmes de polyculture-élevage y sont présentés comme complexes, du fait des nombreuses interactions entre leurs composantes (Hendrickson *et al.*, 2008a ; van Keulen et Schiere, 2004). Schiere et Kater (2001) soulignent d'ailleurs que les systèmes de polyculture-élevage sont fondés sur le « *communal ideotype* » selon lequel « le rendement de l'ensemble est plus important que le rendement de ses parties isolées ». Etudier seulement certaines composantes de l'exploitation de polyculture-élevage n'aurait donc qu'un intérêt relatif. (Tanaka *et al.*, 2007) soulignent d'ailleurs que seuls des programmes de recherche intégrée et interdisciplinaire peuvent étudier la polyculture-élevage de manière pertinente.

3.2. Des recherches essentiellement disciplinaires sur le système technique de production

La plupart des travaux de recherche basés sur des expérimentations ou des données d'observation sont pourtant focalisés sur des problématiques très ciblées au sein des systèmes techniques de production, par exemple l'amélioration génétique de cultures double-fin pour une meilleure productivité des cultures (Zerbini and Thomas, 2003) ou encore l'évaluation des effets de l'urine sur les propriétés des sols et sur la culture de millet (Powell et Williams, 1995) (tableau 3). Les chercheurs conduisent alors une recherche disciplinaire majoritairement inscrite en agronomie ou en zootechnie. Leurs analyses se basent sur des statistiques descriptives ou de la modélisation à partir de données issues d'expérimentation ou d'observations de terrain (Lenné *et al.*, 2003) incitent par exemple à la multidisciplinarité mais n'adoptent pas une approche intégrée : ils proposent un éclairage d'une question technique (en l'occurrence l'utilisation de cultures double-fin pour améliorer la productivité) par différentes disciplines juxtaposées mais ne croisent pas leurs analyses. Rares sont les études à l'échelle de l'exploitation de polyculture-élevage qui vont au-delà de points de vue techniques (Choisit *et al.*, 2010 ; Gibon *et al.*, 2011). Des approches de ce type répondraient pourtant aux enjeux de durabilité auxquels doit répondre la polyculture-élevage.

Tableau 3 : Aperçu de questions abordées par la recherche et des méthodologies développées pour répondre aux enjeux internationaux des systèmes de polyculture-élevage

| Référence considérée | Objectif principal | Echelle considérée | Localisation | Discipline | Méthode de collecte des données | Méthode d'analyse des données |
|------------------------------|--|--|----------------------|--|--|--------------------------------------|
| <i>Choisis et al., 2010</i> | <i>Evaluer le fonctionnement des exploitations de polyculture-élevage</i> | <i>Exploitation</i> | <i>Nord (France)</i> | <i>Zootechnie- Ecologie- Anthropologie</i> | <i>Enquêtes</i> | <i>Statistiques multivariées</i> |
| <i>Coquil et al., 2009</i> | <i>Conception de systèmes de polyculture-élevage à bas intrants</i> | <i>Système biophysique</i> | <i>Nord (France)</i> | <i>Zootechnie</i> | <i>Expérimentation</i> | <i>Statistiques quantitatives</i> |
| <i>Coquil et al., 2011</i> | <i>Renforcement des interfaces cultures/élevage</i> | <i>Exploitation</i> | <i>Nord (France)</i> | <i>Zootechnie- Ergonomie</i> | <i>Enquêtes</i> | <i>Analyse de discours</i> |
| <i>de Jager et al., 1998</i> | <i>Améliorer les flux de nutriments et les performances économiques d'exploitations de polyculture-élevage</i> | <i>Exploitation et système technique</i> | <i>Sud (Afrique)</i> | <i>Agronomie - Economie</i> | <i>Observations de terrain</i> | <i>Modélisation</i> |
| <i>Devendra, 2001</i> | <i>Améliorer la productivité de l'élevage</i> | <i>Système technique</i> | <i>Sud (Asie)</i> | <i>Zootechnie- Agronomie</i> | <i>Observations de terrain</i> | <i>Statistiques descriptives</i> |
| <i>Devendra et al., 1997</i> | <i>Evaluation technologique de l'utilisation de co-produits des cultures pour alimenter les ruminants</i> | <i>Système technique</i> | <i>Sud (Asie)</i> | <i>Zootechnie - Agronomie</i> | <i>Observations de terrain</i> | <i>Statistiques descriptives</i> |
| <i>Dugué et al., 2004</i> | <i>Favoriser la mise en place d'innovations</i> | <i>Système technique</i> | <i>Sud (Afrique)</i> | <i>Agronomie- Zootechnie</i> | <i>Enquêtes</i> | <i>Modélisation</i> |

| Référence considérée | Objectif principal | Echelle considérée | Localisation | Discipline | Méthode de collecte des données | Méthode d'analyse des données |
|---|--|---------------------------|--------------------------|-------------------|--|---|
| <i>Franzluebbbers et Stuedemann, 2007</i> | <i>Evaluer la mise en place de non-labour dans des systèmes de polyculture-élevage</i> | <i>Système technique</i> | <i>Nord (USA)</i> | <i>Agronomie</i> | <i>Expérimentation</i> | <i>Statistiques descriptives</i> |
| <i>Franzluebbbers et Stuedemann, 2007</i> | <i>Evaluer les réponses physiques et biologiques des sols au pâturage d'intercultures par les bovins</i> | <i>Système technique</i> | <i>Nord (USA)</i> | <i>Agronomie</i> | <i>Expérimentation</i> | <i>Statistiques descriptives</i> |
| <i>Havet et al., 2010</i> | <i>Evaluer l'adaptation de systèmes de polyculture-élevage à l'aléa climatique et politique</i> | <i>Exploitation</i> | <i>Nord (France)</i> | <i>Zootechnie</i> | <i>Enquêtes</i> | <i>Statistiques multivariées</i> |
| <i>Khakbazan et al., 2009</i> | <i>Evaluer l'intérêt de la luzerne pour diversifier le système de cultures en polyculture-élevage</i> | <i>Système technique</i> | <i>Nord (Canada)</i> | <i>Agronomie</i> | <i>Expérimentation</i> | <i>Statistiques quantitatives</i> |
| <i>Lenné et al., 2003</i> | <i>Améliorer l'utilisation de cultures double-fin (food/feed)</i> | <i>Système technique</i> | <i>Sud (Afrique)</i> | <i>Agronomie</i> | <i>Bibliographie</i> | |
| <i>Le Gal et al., 2011</i> | <i>Aider les agriculteurs à concevoir des systèmes de polyculture-élevage innovants</i> | <i>Exploitation</i> | <i>Sud (Madagascar)</i> | <i>Agronomie</i> | <i>Enquêtes</i> | <i>Modélisation (simulation de scénarios)</i> |
| <i>Powell et Williams, 1995</i> | <i>Evaluation du recyclage des nutriments dans des systèmes de polyculture-élevage</i> | <i>Système technique</i> | <i>Sud (Afrique)</i> | <i>Agronomie</i> | <i>Observations de terrain</i> | <i>Statistiques quantitatives</i> |
| <i>Powell J.M. et al., 1998</i> | <i>Evaluer les effets de l'urine sur les propriétés des sols et la culture de millet</i> | <i>Système technique</i> | <i>Sud (Afrique)</i> | <i>Agronomie</i> | <i>Observations de terrain</i> | <i>Statistiques quantitatives</i> |

| Référence considérée | Objectif principal | Echelle considérée | Localisation | Discipline | Méthode de collecte des données | Méthode d'analyse des données |
|---------------------------------------|---|---------------------------|------------------------------|----------------------------|--|--------------------------------------|
| <i>Ryschawy et al., 2012b</i> | <i>Evaluer la durabilité économique et environnementale de la polyculture-élevage</i> | <i>Exploitation</i> | <i>Nord (France)</i> | <i>Zootchnie-Agronomie</i> | <i>Enquêtes</i> | <i>Statistiques descriptives</i> |
| <i>Ryschawy. et al., 2012</i> | <i>Comprendre les stratégies qui permettent le maintien des exploitations de polyculture-élevage</i> | <i>Exploitation</i> | <i>Nord (France)</i> | <i>Zootchnie-Agronomie</i> | <i>Enquêtes</i> | <i>Statistiques multivariées</i> |
| <i>Schiere et al., 2002</i> | <i>Evaluer le rôle de l'élevage pour la durabilité de la polyculture-élevage</i> | <i>Système technique</i> | <i>Sud</i> | <i>Zootchnie</i> | <i>Bibliographie</i> | <i>Modélisation (Prog. Linéaire)</i> |
| <i>Schiere et de Wit., 1995</i> | <i>Diminuer les coûts alimentaires en intégrant la paille dans les rations animales</i> | <i>Système technique</i> | <i>Sud</i> | <i>Zootchnie</i> | <i>Bibliographie</i> | <i>Modélisation (Prog. Linéaire)</i> |
| <i>Siegmund-Schultze et al., 2010</i> | <i>Evaluer l'intérêt de bovins dans des petites exploitations d'autosubsistance</i> | <i>Exploitation</i> | <i>Sud (Amérique latine)</i> | <i>Economie</i> | <i>Enquêtes</i> | <i>Statistiques quantitatives</i> |
| <i>Swinton et Quiroz, 2003</i> | <i>Evaluer les liens entre pauvreté et dégradation des sols</i> | <i>Exploitation</i> | <i>Sud (Amérique latine)</i> | | <i>Observations de terrain</i> | <i>Régression linéaire</i> |
| <i>(Thomas. and Sumberg, 1995)</i> | <i>Evaluer les intérêts des cultures fourragères et du cycle des nutriments dans des exploitations de polyculture-élevage</i> | <i>Système technique</i> | <i>Sud (Amérique latine)</i> | <i>Agronomie</i> | <i>Bibliographie</i> | <i>Statistiques descriptives</i> |

| Référence considérée | Objectif principal | Echelle considérée | Localisation | Discipline | Méthode de collecte des données | Méthode d'analyse des données |
|--------------------------------|--|---------------------------|----------------------|-------------------|--|--------------------------------------|
| <i>Veysset et Bébin, 2006</i> | <i>Evaluation de l'autonomie azotée en systèmes bovins allaitants-grandes cultures</i> | <i>Exploitation</i> | <i>Nord (France)</i> | <i>Economie</i> | <i>Enquêtes</i> | <i>Modélisation (Prog. Linéaire)</i> |
| <i>Veysset et al., 2005</i> | <i>Adaptation des systèmes avec bovins allaitants à l'Agenda 2000 de la PAC</i> | <i>Exploitation</i> | <i>Nord (France)</i> | <i>Economie</i> | <i>Enquêtes</i> | <i>Modélisation (Prog.linéaire)</i> |
| <i>Zerbini et Thomas, 2003</i> | <i>Améliorer génétiquement les cultures double-fin</i> | <i>Plante</i> | <i>Sud (Asie)</i> | <i>Agronomie</i> | <i>Expérimentation</i> | <i>Statistiques quantitatives</i> |

La majorité des travaux que nous avons répertoriés dans la littérature scientifique se focalisent en effet sur les flux biophysiques permis par les interactions entre élevage et culture au sein des systèmes techniques de polyculture-élevage. L'optimisation du cycle des nutriments est particulièrement renseignée. Depuis la dernière décennie, la question est élargie au renforcement de l'autonomie en intrants de l'exploitation via les coordinations entre élevage et cultures (par exemple Coquil *et al.*, 2011 ; Hendrickson *et al.*, 2008c ; Schiere et Kater, 2001 ; Wilkins, 2008). Des approches expérimentales sont proposées pour éclairer les formes possibles de coordination en élevage et cultures (Coquil *et al.*, 2009). Ces analyses pourraient permettre de concevoir des exploitations de polyculture-élevage à bas intrants en réponse à des enjeux de durabilité environnementale. Les enjeux économiques de la polyculture-élevage évoqués de manière théorique par des économistes (Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008) sont très peu étudiés. Des travaux conduits en économie de l'élevage répondent néanmoins à des enjeux-clés de la polyculture-élevage européenne : l'adaptation aux évolutions de la PAC (Garcia-Martinez *et al.*, 2009 ; Veysset *et al.*, 2005) et la recherche d'autonomie protéique (Veysset et Bébin, 2006). Ces travaux intègrent le long terme, ce qui manque généralement malgré les recommandations faites par van Keulen et Schiere, 2004) qui appellent à étudier les exploitations de polyculture-élevage comme des systèmes complexes.

3.3. Une prise en compte concrète des enjeux de développement des exploitations au Sud.

Sur les cas d'études du Sud, les chercheurs étudient les systèmes de polyculture-élevage en milieu réel en proposant des innovations technique pour en favoriser l'intensification. Les travaux sont principalement conduits sur des problématiques biophysiques visant à améliorer la productivité de la polyculture-élevage soit du point de vue des cultures (Powell *et al.*, 1993) en Afrique sub-saharienne, Devandra et Thomas, 2001 en Asie ; Zerbini et Thomas, 2003 en Amérique latine), soit du point de vue de l'élevage (Powell *et al.*, 2004 ; Thornton et Herrero, 2001 ; en Afrique subsaharienne ; Devendra, 1996 et Devandra et Thomas, 2001 en Asie du Sud-Est ; Siegmund-Schultze *et al.*, 2010 en Amérique du Sud). Rares sont les travaux intégrant les agriculteurs à cette réflexion. Des enquêtes sur les aspects techniques et des travaux d'accompagnement des agriculteurs sont centraux pour le développement de la

polyculture-élevage des pays du Sud (par exemple Le Gal *et al.*, 2011). Ces travaux permettraient une plus large adoption de techniques permettant l'intensification souhaitée de la production, l'implication des acteurs étant reconnue pour permettre d'élaborer des innovations pertinentes (Thornton et Herrero, 2001). Thomas (2002) souligne un manque d'études en conditions réelles d'exploitations agricoles, qui est la seule méthode permettant d'intégrer la gestion technique par l'agriculteur.

3.4. Un renouveau d'intérêt récent pour la polyculture-élevage au Nord.

La polyculture-élevage a été en revanche peu étudiée dans les pays du Nord, où Recherche et conseil se sont en effet longtemps orientés vers une intensification de la production agricole basée sur des économies d'échelle et donc une spécialisation des exploitations (Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008). L'intérêt de la polyculture-élevage pour le développement durable n'a été reconsidéré que très récemment aux Etats-Unis (Hendrickson *et al.*, 2008b ; Tanaka *et al.*, 2007) et en Europe (Coquil *et al.*, 2011 ; Gibon *et al.*, 2011). Ce renouveau d'intérêt récent peut expliquer le peu de travaux recensés au Nord. Les rares travaux conduits au Nord portent sur des questions au niveau du système technique alors qu'Hendrickson *et al.* (2008c) ont souligné le besoin de travaux visant à concevoir des systèmes de polyculture-élevage capables de s'adapter à des changements de contexte tout en maintenant une certaine stabilité. Les innovations techniques proposées pour favoriser la durabilité environnementale sont déconnectées du contexte des exploitations, par exemple Franzluebbbers et Stuedemann (2007) sur l'impact de pratiques de non-labour sur la qualité des sols ou Khakbazan *et al.* (2009) sur l'intérêt d'intégrer de la luzerne dans les exploitations. Les travaux conduits répondent donc de manière très partielle aux enjeux de la polyculture-élevage européenne.

Pourtant comme nous l'avons vu, les exploitations de polyculture-élevage se sont plutôt maintenues dans des zones défavorisées simples, les agriculteurs n'ayant pas suivi le schéma classique de spécialisation (Darnhofer *et al.*, 2010). Il est donc fondamental que la recherche prenne en considération l'environnement de l'exploitation et son influence sur les décisions de l'agriculteur d'adopter ou non une technique proposée par la recherche. Les pressions influant sur leurs décisions et qui ont pu marginaliser la polyculture-élevage sont donc d'une importance majeure pour la durabilité de ces systèmes.

Conclusion

La revue bibliographique présentée souligne le récent renouveau d'intérêt pour la polyculture-élevage qu'a amené le cadre du développement durable. La définition de la polyculture-élevage recouvre une large diversité d'agricultures à travers le monde qui doit être précisée selon les études. Les exploitations de polyculture-élevage s'inscrivent dans des dynamiques différentes dans les pays du nord et du sud. Au nord, la polyculture-élevage représente une voie d'avenir par un retour à des pratiques agronomiques plus respectueuses de l'environnement. Au Sud, la polyculture-élevage serait une voie d'intensification de la productivité agricole. Des enjeux transversaux existent néanmoins au niveau mondial. Partout, la coordination entre élevage et productions végétales à l'échelle de l'exploitation est reconnue pour ses intérêts économiques (sécurisation des revenus par rapport aux fluctuations de marché, économies de gamme) et environnementaux (maintien de la biodiversité, réduction des intrants, multifonctionnalité).

La recherche aborde ces enjeux de manière théorique dans des synthèses mais les cas d'étude réels ont une place faible dans le panorama des recherches. Les cas d'études recensés sont principalement basés dans les pays du Sud ; les recherches dans les pays du Nord sont encore peu développées. La majorité des travaux considérés se focalisent sur les flux biophysiques permis par les interactions entre élevage et culture au sein des exploitations de polyculture-élevage et en particulier sur l'optimisation du recyclage des nutriments. Ces études très disciplinaires et ciblées n'intègrent pas le fonctionnement et l'évolution des exploitations sur le long terme. Ainsi, des questions vives comme l'organisation du travail ou le maintien de la polyculture-élevage dans les pays du Nord ne sont pas traitées. De plus, les pratiques des agriculteurs et les facteurs de l'environnement des exploitations sont peu pris en compte. Pour permettre une réelle réflexion sur la place des exploitations de polyculture-élevage dans le cadre du développement durable, les études devraient adopter des approches systémiques et interdisciplinaires sur le temps long.

Références bibliographiques

- Agreste 2009. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire - Agreste - RICA France - Tableau standard RICA 2002-2008.
- Antrop M. 2005. *Why landscapes of the past are important for the future? Landscape and Urban Planning* 70(1) , 21-34.
- Bassanino M., Grignani C., Sacco D. and Allisiardi E. 2007. Nitrogen balances at the crop and farm-gate scale in livestock farms in Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 122, 282-294.
- Bell LW and Moore AD 2012. *Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. Agricultural Systems*
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2012.04.003>.
- Chatellier V. and Guyomard H. 2008. *Le bilan de santé de la PAC, le découplage et l'élevage en zones difficiles.* -8 pp.
- Choisis J.P., Sourdril A., Deconchat M, Balent G and Gibon A. 2010. *Understanding regional dynamics of mixed crop-livestock agricultural systems to support rural development in South-western France uplands. Cahiers Agriculture* 19 (2), 97-103.
- Coquil X., Béguin P. and Dedieu B. 2011. *Systèmes de polyculture élevage laitiers évoluant vers l'AB et l'autonomie: un renforcement des interfaces cultures/élevage.* In (), pp.
- Coquil X., Blouet A., Fiorelli J.L., Bazard C. and Trommenschlager J.M. 2009. *Conception de systèmes laitiers en agriculture biologique : une entrée agronomique. INRA Productions Animales* 22(3), 221-234.
- Darnhofer I., Bellon S., Dedieu B. and Milestad R. 2010. *Adaptativeness to enhance the sustainability of farming systems. A review. Agronomy for Sustainable Development* 30, 545-555.
- De Jager A, Kariuki I, Matiri F, Odendo M and Wanyama JM 1998. *Linking Economic Performance and Nutrient Balances in Different Farming Systems in Kenya: A Synthesis Towards an Integrated Analysis of Economic and Ecological Sustainability. Agriculture, Ecosystems, and Environment* 71(2), 81-92.
- de Wit J., Prins U. and Baars T. 2006. *Partner Farms : experiences with livestock farming systems research support intersectoral cooperation in the Netherlands. In Livestock Farming Systems : Product Quality Based on Local Resources Leading to Improved Sustainability* (), pp. 317-322.

- Dedieu B. and Serviere G. 1997. La méthode Bilan Travail et son application. Options Méditerranéennes Série A 38, 353-364.*
- Devendra C 1996. China's livestock and related agriculture: Projections to 2025. (1994) : James R. Simpson, Xu Cheng and Akira Miyazaki. Commonwealth agricultural Bureau International, Wallingford, Oxon, OX10 8DE, UK. ISBN 0 85198 891 1 HB. 474 pp. ú95 (US\$175). Livestock Production Science 45, 226-227.*
- Devendra C 2001. Crop-animal systems in Asia: future perspectives. Agricultural Systems 71, 179-186.*
- Devendra C, Thomas D., Jabbar MA and Kudo H 1997. Improvement of Livestock Production in Crop-Animal Systems in Rainfed Agro-ecological Zones of South-East Asia. -116 pp.*
- Devendra C and Thomas D 2001. Crop-animal systems in Asia: importance of livestock and characterisation of agro-ecological zones. Agricultural Systems 71, 5-15.*
- Devendra C and Thomas D 2002. Crop-animal interactions in mixed farming systems in Asia. Agricultural Systems 71, 27-40.*
- Dufumier M. 2006. Diversité des exploitations agricoles et pluriactivité des agriculteurs dans le Tiers-Monde. Cahiers Agriculture 15 (6), 584-588.*
- Dugué P., Fahiraman R.K., Gnagadjomon K. and Akindes F. 2004. Production agricole et élevage dans le centre du bassin cotonnier de Côte d'Ivoire : Développement économique, gestion des ressources naturelles et conflits entre acteurs. Cahiers Agricultures 13, 1-7.*
- Entz M.H, Baron V.S., Carr P.M., Meyer D.W., Smith S.R. and Mac Caughey P. 2002. Potential of Forages to Diversify Cropping Systems in the Northern Great Plains*
- Martin H. Entz, *Vern S. Baron, Patrick M. Carr, Dwain W. Meyer, S. Ray Smith, Jr., and W. Paul McCaughey. AGRONOMY JOURNAL 94, 240-250.*
- European Commission 1999. Specialised holdings and more intensive practices.*
- Ewing M.A. and Flugge F. 2005. The benefits and challenges of crop-livestock integration in Australian agriculture.*
- Franzluebbers A.J. 2007. Integrated Crop-Livestock Systems in the Southeastern USA. Agronomy Journal 99, 361-372.*
- Franzluebbers A.J. and Stuedemann J.A. 2007. Crop and cattle responses to tillage systems for integrated crop-livestock production in the Southern Piedmont, USA. Renewable Agriculture and Food Systems 22(3), 168-180.*

- Garcia-Martinez A., Olaizola A. and Bernués A. 2009. Trajectories of evolution and drivers of change in European mountain cattle farming systems. *Animal* 3, 152-165.
- Gibon A., Ryschawy J., Schaller N., Blouet A., Coquil X., Martin P., Fiorelli J.L., Havet A. and Martel G. 2011. L'élevage, un atout pour le développement durable des territoires dans les régions de polyculture-élevage. In *Renc.Rech.Ruminants* (), pp. 369-372.
- Griffon M. 2009. Pour des agricultures écologiquement intensives, des territoires à haute valeur environnementale et de nouvelles politiques agricoles. Éditions de l'Aube et Conseil général des Côtes d'Armor, 109 pp., 109 pp., Éditions de l'Aube et Conseil général des Côtes d'Armor.
- Havet A., Faure J., Martin P., Mathieu A., Rémy P. and Schaller N. 2010. What future for grass inside dairy cow farming in mixed crop livestock regions? Two cases in 'Plaine de Niort' and 'Pays de Caux' in the last 2000s.
- Hendrickson J.R., Hanson J.D., Tanaka D.L. and Sassenrath G.F. 30-6-2008a. Principles of integrated agricultural systems : Introduction to processes and definition. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23(4), 265-271.
- Hendrickson J.R., Liebig M.A. and Sassenrath G.F. 19-9-2008b. Environment and integrated agricultural systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23(4), 304-313.
- Hendrickson J.R., Sassenrath G.F., Archer D., Hanson J.D. and Halloran J. 2008c. Interactions in integrated US agricultural systems : The past, present and future. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23(4), 314-324.
- 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. and Rosegrant M. 2010. Smart Investments in Sustainable Food production : Revisiting Mixed Crop-livestock systems. *Science* 327, 822-825.
- Khakbazan M, Moulin AM, Coulthard L, and Nagy CN 2009. Alfalfa as a Diversification Option for Grain Farms in Western Canada. *Journal of International Farm Management* 4(4), 1-10.
- Kruska RL, Reid RS, Thornton PK, Henninger N and Kristjanson PM 2003. Mapping livestock-oriented agricultural production systems for the developing world. *Agricultural Systems* 77, 39-63.
- Le Gal P.-Y., Andrieu N., Dugué P., Kuper M and Sraïri MT 2011. Des outils de simulation pour accompagner des agroéleveurs dans leurs réflexions stratégiques. *Cahiers Agriculture* 20(5), 413-420.

- Lemaire G., Benoit M. and Vertes F 2003. *Rechercher de nouvelles organisations à l'échelle du territoire pour concilier autonomie protéique et préservation de l'environnement. Fourrages*, 175, 303-318. *Fourrages* 175, 303-318.
- Lenné JM, Fernandez-Rivera S and Blümmel M 2003. *Approaches to improve the utilization of food-feed crops--synthesis. Field Crops Research* 84, 213-222.
- Lenné JM and Thomas D. 2006. *Integrating crop-livestock research and development in Sub-Saharan Africa: Option, imperative or impossible? Outlook on Agriculture* 35 (3), 167-175 (9).
- Lhoste P. 2004. *Les relations agriculture-élevage. Oléagineux, Corps Gras, Lipides* 11, 253-255.
- Mazoyer M et Roudart L 1997. *Histoire des agricultures du monde. Du Néolithique à la crise contemporaine. Nouvelle édition revue et augmentée dans la collection Pont Histoire, Seuil, Paris ,2002, 705 p.*
- Powell J.M., Fernandez-Rivera S, Williams T.O. and Renard C. 1993. *Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of sub-Saharan Africa Volume II: Technical Papers. In ()*, pp.
- Powell J.M., Ikpe FN, Somda ZC and Fernandez-Rivera S 1998. *Urine effect on soil chemical properties and the impact of urine and dung on pearl millet yield. Experimental Agriculture* 34, 259-276.
- Powell J.M., Pearson R.A. and Hiernaux P.H. 2004. *Crop-Livestock Interactions in the West African Drylands. Agronomy Journal* 96, 469-483.
- Powell J.M. and Williams T.O. 1995. *An overview of mixed farming systems in sub-Saharan Africa. In J.M. Powell, R. Fernandez-Rivera, T.O. Williams and C. Renard, Editors, Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of sub-Saharan Africa, ILCA, Addis Ababa, Ethiopia. ()*, pp. 21-36.
- Russelle M.P., Entz M.H and Franzluebbbers A.J. 6-2-2007. *Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. Agronomy Journal* 99, 325-334.
- Russelle M.P. and Franzluebbbers A.J. 6-2-2007. *Introduction to Symposium : Integrated Crop-livestock Systems for Profit and Sustainability."Agronomy Journal* 99, 323-324.
- Ryschawy J., Choisis N., Choisis J.P., Joannon A. and Gibon A. 2012. *Paths to last in mixed crop-livestock farming: lessons from an assessment of farm trajectories of change. Animal doi:10.1017/S1751731112002091.*

- Ryschawy J, Choisis N, Choisis JP, Joannon A and Gibon A 2012a. *Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming?* *Animal* 6, 1722-1730.
- Schiere J.B. and de Wit J. 1995. *Feeding of urea ammonia treated straw in the tropics. Part II: Assumption on nutritive values and their validity for least cost ration formulation.* *Anim.FeedSci.Technol.* 51, 45-63.
- Schiere J.B., Ibrahim M.N.M. and van Keulen H. 2002. *The role of livestock for sustainability in mixed farming :criteria and scenario studies under varying resource allocation.* *Agriculture, Ecosystems and Environment* 90, 139-153.
- Schiere J.B. and Kater L. 2001. *Mixed crop-livestock farming. A review of traditional technologies based on literature and field experiences.*,152, *FAO Animal Production and health paper.* 73 pp.
- Séré C., Steinfeld H. and Groenewold J. 1996. *World Livestock Production systems,Food and Agriculture Organization of the United Nations (Rome).*
- Siegmund-Schultze M, Rischkowsky B, da Veiga JB and King JM 15-2-2010. *Valuing cattle on mixed smallholdings in the Eastern Amazon.* *Ecological Economics* 69, 857-867.
- Swinton SM and Quiroz R 2003. *Is Poverty to Blame for Soil, Pasture and Forest Degradation in Peru's Altiplano?* *World Development* 31, 1903-1919.
- Tanaka D.L., Karn J.F. and Scholljegerdes E.J. 2007. *Integrated crop/livestock systems research : Practical research considerations.* *Renewable Agriculture and Food Systems* 23(1), 80-86.
- Thomas D. 2002. *Editorial.* *Agricultural Systems* 71, 1-4.
- Thomas D. and Sumberg JE 1995. *A review of the evaluation and use of tropical forage legumes in sub-Saharan Africa.* *Agriculture, Ecosystems and Environment* 54, 151-163.
- Thornton PK and Herrero M 2001. *Integrated crop-livestock simulation models for scenario analysis and impact assessment.* *Agricultural Systems* 70, 581-602.
- Thornton PK, Kristjanson PM and Thorne PJ 2003. *Measuring the potential impacts of improved food-feed crops: methods for ex ante assessment.* *Field Crops Research* 84, 199-212.
- Thornton PK, Kristjanson PM and Thorne PJ 2010. *Measuring the potential impacts of improved food-feed crops: methods for ex ante assessment.* *Field Crops Research* 84, 199-212.
- van Keulen H. 2007. *Quantitative analyses of natural resource management options at different scales.* *Agricultural Systems* 94, 768-783.

- Van Keulen H and Schiere H 2004. Crop-Livestock Systems: Old Wine in New Bottles? In New Directions for a Diverse Planet. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, September 2004. Brisbane, Australia.*
- Vayssières J., Guerrin F., Paillat J.-M. and Lecomte P. 2009. GAMEDE : A global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises Part I - Whole farm dynamic model. Agricultural Systems 101, 128-138.*
- Vermersch D, 2007 L'éthique en friche, Editions QUAE INRA, collection update sciences and technologies 2007, Paris. 117pp.*
- Veysset P and Bébin D. 2006. Food self-sufficiency and farm economics in French organic suckler cattle farms. In Organic Farming and European Rural Development (), pp. Odense, Danemark.*
- Veysset P, Bébin D and Lherm M 2005. Adaptation to Agenda 2000 (CAP reform) and optimisation of the farming system of French suckler cattle farms in the Charolais area: a model-based study. Agricultural Systems 83, 179-202.*
- Wilkins RJ 2008. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences 363, 517-525.*
- Zerbini E and Thomas D 2003. Opportunities for improvement of nutritive value in sorghum and pearl millet residues in South Asia through genetic enhancement. Field Crops Research 84(1-2), 3-15.*

Article 2: Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming?

J. Ryschawy^a, N.Choisis^a, J.P. Choisis^a, A. Joannon^b and A. Gibon^a

^a INRA, UMR 1201 Dynafor, INPT/ENSAT, F-31326 Castanet-Tolosan.

^b INRA, UR 0980 SAD Paysage, F-35042 Rennes

Corresponding author: Julie RYSCHAWY. E-mail: julie.ryschawy@toulouse.inra.fr

Abstract

Intensification and specialisation of agriculture in developed countries enabled productivity to be improved but had detrimental impacts on the environment and threatened the economic viability of a huge number of farms. The combination of livestock and crops, which was very common in the past, is assumed to be a viable alternative to specialised livestock or cropping systems. Mixed crop-livestock systems can improve nutrient cycling while reducing chemical inputs and generate economies of scope at farm level. Most assumptions underlying these views are based on theoretical and experimental evidence. Very few assessments of their environmental and economic advantages have nevertheless been undertaken in real-world farming conditions. In this paper, we present a comparative assessment of the environmental and economic performances of mixed crop-livestock farms *versus* specialised farms among the farm population of the French ‘Coteaux de Gascogne’. In this hilly region, half of the farms currently use a mixed crop-livestock system including cattle and cash crops, the remaining farms being specialised in either crops or cattle. Data was collected through an exhaustive survey farms located in our study area. The economic performances of farming systems were assessed on 48 farms on the basis of (i) overall gross margin, (ii) production costs and (iii) analysis of the sensitivity of gross margins to fluctuations in the price of inputs and outputs. The environmental dimension was analysed through (i) characterisation of farmers’ crop management practices, (ii) analysis of farm land use diversity and (iii) nitrogen farm-gate balance. Local mixed crop-livestock farms did not have significantly higher overall gross margins than specialized farms but were less sensitive than dairy and crop farms to

fluctuations in the price of inputs and outputs considered. Mixed crop-livestock farms had lower costs than crop farms, while beef farms had the lowest costs as they are grass-based systems. Concerning crop management practices, our results revealed an intensification gradient from low to high input farming systems. Beyond some general trends, a wide range of management practices and levels of intensification were observed among farms with a similar production system. Mixed crop-livestock farms were very heterogeneous with respect to the use of inputs. Nevertheless, our study revealed a lower potential for nitrogen pollution in mixed crop-livestock and beef production systems than in dairy and crop farming systems. Even if a wide variability exists within system, mixed crop-livestock systems appear to be a way for an environmental and economical sustainable agriculture.

Keywords

Mixed crop-livestock farming; economic viability; environment; practices; comparative assessment

Implications

The results of this study highlight the potential advantages of mixed crop-livestock farming over specialised systems in regards to the sustainable development of European agriculture. Mixed crop-livestock farming is a good compromise on economic and environmental dimensions especially in less favoured areas. Nevertheless, for these mixed crop-livestock systems the wide variability of each indicator underlined the fact that careful management is required but not always applied.

Introduction

The Common Agricultural Policy (CAP) of the European Union has led to specialisation of European agricultural systems (Antrop, 2005). CAP aims at supporting European farmers' incomes and rural development through direct subsidies (E.U., 2011; Veysset *et al.*, 2005). In developed countries, agricultural intensification and specialisation enabled productivity to be

improved but also had detrimental impacts on the environment and questioned the economic viability of a huge number of farms (Wilkins, 2008). Mixed crop-livestock systems, combining livestock and cash crops at farm level, are considered to be a good way to achieve sustainable intensification of agricultural systems. These systems which were common in the past (Mazoyer and Roudart, 1996), are again attracting worldwide interest, particularly for economic and environmental reasons at farm level. Mixed crop-livestock systems are the highest level of integration among agricultural systems. While maximising interactions between crop and livestock production, mixed crop-livestock systems benefit the environment by improving nutrient cycling (Hendrickson *et al.*, 2008). Mixed crop livestock-systems also generate higher economic efficiency in saving production costs through complementarities between crop and livestock (Wilkins, 2008). Economies of scope occur as mixed-crop livestock systems reduce their production costs through combined elaboration of products (Vermersch, 2007). Diversifying production is also for farmers a way of reducing risks in regards to market fluctuations (Russelle *et al.*, 2007).

The advantages of mixed crop-livestock systems are usually assessed through the literature and experimental studies. Our objective was to test -in real-world conditions- if mixed crop-livestock systems have a better economic performance and less impact on the environment than specialised farms. This study is a first step in evaluating the potential advantages of mixed crop-livestock systems. Our study was based on the entire farm population of an area that is representative of upland conditions in southern Europe. Mixed crop-livestock systems have survived up to now in this area. We focused our assessment on the main dimensions in which, according to the literature, mixed crop-livestock systems are advantageous: on the economic and environmental dimensions (Schiere and Kater, 2001). We used indicators related to these two dimensions to discuss our results in the context of results reported in the literature.

Material and methods

Research context and study area

This study is part of an interdisciplinary research programme on the relations between landscape, agriculture and biodiversity in the French ‘Coteaux de Gascogne’. This area is located in south-western France in the Pyrenean Piedmont and is part of the ‘European Long-Term Ecological Research’ network. A participatory study involving local stakeholders is underway to investigate the future of agricultural systems in the study area, which includes four neighbouring villages (Choisis *et al.*, 2010).

The ‘Coteaux de Gascogne’ is an upland area where specialisation of agriculture has been limited. Global agro-ecological zoning (FAO, 1995) classifies the region as a temperate area with frequent summer droughts, with average precipitation of 40 mm per month. Annual precipitation is low (700 mm/year) and variable over the year with most falling in spring (65-76 mm per month). Due to soils, climatic conditions and the local agricultural tradition, grasslands remain dominant in total *Utilized Agricultural Area* (UAA). UAA includes all farm hectares dedicated to arable land, areas always under grass cover and permanent crops (FADN, 2011). 61 % of the UAA is composed of temporary and permanent grasslands on the many steep slopes (Choisis *et al.*, 2010). Of the arable land, 26.5% is used to produce wheat and maize silage to feed herds (Agreste, 2010); cash crops such as soybeans, colza and sunflowers are also grown. Half of the existing farms are mixed crop-livestock farms, with grass-based beef and crops (Choisis *et al.*, 2010). One of them also produces force-feeding ducks and another one produces chicken. The remaining are specialised in cash crops, dairy, or beef production.

Farm population surveyed and data collection

Our work was based on an exhaustive assessment of the population of farms in the study area (about 4000 ha). ‘Spatially-explicit’ surveys of the local farm population (Mottet *et al.*, 2006) were used to obtain data on (i) farm structure, (ii) technical-economic practices and (iii) farmers’ land-management practices. Data was collected on 56 out of the 61 farms in the study area at the beginning of 2007. The farms surveyed covered 93% of the UAA in the

study area. Information required for the study was lacking on eight farms in the sample, so data from 48 farms were used.

The 48 farms were classified into four types of farming systems: dairy farms, beef farms, crop farms and mixed crop-livestock farms. Mixed crop-livestock systems corresponded to the economic definition of Seré *et al.* (1996): ‘Livestock systems in which more than 10 percent of the dry matter fed to animals comes from crop by-products, stubble or more than 10 percent of the total value of production comes from non-livestock farming activities’. Beef and dairy specialised systems obtain more than 90% of their gross margin from animal production; crops and grasslands are mainly produced to feed cows. The main characteristics of farming systems are summarized in table 1.

Table 1: *Main characteristics of farms surveyed according to farming systems in the population (mean ± standard deviation)*

| | Dairy farms | Beef farms | Crop farms | Mixed farms |
|-----------------|-------------|------------|------------|-------------|
| Number of farms | 6 (12%) | 12 (25%) | 7 (15%) | 23 (48%) |
| UAA (ha) | 93 ± 52 | 89 ± 58 | 66 ± 58 | 118 ± 82 |
| MFA(ha) | 48 ± 32 | 77 ± 53 | 13 ± 12 | 64 ± 56 |
| WU | 2.3 ± 1,1 | 1.3 ± 0,6 | 0.5 ± 0,4 | 1.8 ± 1,0 |
| Number of cows | 48 ± 20 | 54 ± 36 | n.a. | 48 ± 37 |

UAA is the Utilized Agricultural Area, i.e. the total farm hectares dedicated to arable land, areas always under grass cover and permanent crops

MFA is the Main Fodder Area, i.e. the total farm hectares dedicated to fodder production

WU is a Work Unit, i.e. a full-time on farm worker over the course of one year

n.a.: not available

Data elaboration

Farm economic indicators used: Overall gross margin: overall gross margin is widely used in economics to estimate the production potential of a farm (Veysset *et al.*, 2005). The overall gross margin is calculated at the farm scale and enables technical-economic analysis. We calculated the overall gross margin as follows:

$$\text{Overall gross margin} = \sum \text{yearly products} - \sum \text{yearly costs}$$

$$\text{With } \sum \text{yearly products} = (\text{animal sales} - \text{animal purchases}) + \text{crop sales} + \text{total CAP premiums} + \text{general aids and miscellaneous income}$$

$$\text{And } \sum \text{yearly costs} = \text{feed} + \text{breeding costs} + \text{seeds} + \text{fertiliser} + \text{treatments} + \text{harvesting}$$

Breeding costs were including veterinary services and supplies. CAP premiums are subsidies paid by the European Union to farmers that fulfil a specific condition of the CAP (E.U., 2011). Results were expressed per work unit, to give an indication of labour productivity, and per ha of UAA, to compare all farming systems.

Specific costs: to test if farms using mixed crop-livestock systems purchased fewer inputs than other farming systems (Wilkins, 2008), we analysed specific costs. Total costs per ha of UAA gave an indication of costs-at-sale of the whole farm. To go into more detail, we chose inputs that are considered to be less necessary in mixed crop-livestock systems thanks to the interactions between crops and livestock, *i.e.* purchased fertiliser and feed (Russelle *et al.*, 2007). These indicators were expressed in Euros per ha of UAA.

Indicators of farm land management practices: Characterisation of farmers' crop practices: this part of the study allowed us to identify types of farmers' crop practices in relation to their environmental impact. Schiere and de Wit (1995) described three types of farming systems as regards to environmental impact among other things: *Low External Input Agriculture* (LEIA), *High External Input Agriculture* (HEIA) and *New Conservation Agriculture* (NCA). LEIA and NCA are relatively environmental friendly, whereas HEIA leads to waste disposal problems of specialised farms. In HEIA, components coexist independently from each other. LEIA and NCA are based on recycling and integration of on-farm components through an increase in labour and keen management. NCA matches production as closely as possible to the resource base. In NCA, farmers tend to adopt new conservation techniques such as minimum or no tillage practices and use of leys. We use this classification to characterise farmer's practices.

Farm land use: landscapes with a complex structure are known to enhance local biodiversity in agroecosystems (Fahrig *et al.*, 2011). Studying farm land use to assess their diversity in farming systems could help evaluate environmental friendly farm land use. Permanent grasslands are potential species-rich habitats (Gibon, 2005): their conservation favours biodiversity. As diversity in landscape and land use is known to enhance wild animal

biodiversity, we also considered the area allocated to crops (Fahrig *et al.*, 2011). To assess the enhancement of biodiversity through farm land use, we calculated for each farm the proportion of three major land uses classified in a simplified functional way: crops, and temporary and permanent grasslands. These indicators were calculated for the year 2007 using data gathered during the survey and expressed as a percentage of each land use in the total UAA.

Nitrogen farm-gate balance: as a key nutrient, nitrogen can be used to illustrate interactions between crops and livestock in mixed crop-livestock systems (Hendrickson *et al.*, 2008). In our study, we wanted to evaluate the risk of pollution due to *Nitrogen Surplus* (NS) at the farm level. We consequently chose the nitrogen farm-gate balance method, which is appropriate for a farm level assessment (Simon and Le Corre, 1992; Vayssières *et al.*, 2009). The nitrogen farm-gate balance method nevertheless has one serious limitation: the balance is only calculated for one year on the basis of apparent flows and processes like leaching. Nitrogen surplus from the atmosphere and the soil is not included in the balance (Vayssières *et al.*, 2009).

The annual nitrogen farm-gate balance was calculated at the whole-farm scale. The processes involved (*via* plant, animal and soil activity) are not taken into account in the balance.

Nitrogen Surplus (NS) is calculated as follows:

$$NS = (N_{in} - N_{out}) / UAA$$

N_{in} is the total amount of nitrogen in purchased inputs: feed concentrate, forage (including leys), straw, animals, mineral fertilisers and manure.

N_{out} is the sum of nitrogen outputs of the system: animal products such as milk, animals and animal manure, but also crops, straw and forage that are sold. N_{in} and N_{out} are expressed in kgN/year. NS is expressed in kgN/ha/year.

For this calculation, both the quantity and nitrogen concentration of each input and output are needed. The quantity of each component was provided by the farmers during the 2007 survey. The nitrogen concentration exported per crop, forage and livestock product as the nitrogen

concentration in animal feed were taken from CORPEN references (CORPEN, 1988). The concentration of nitrogen in the nitrogen fertiliser was provided by the farmers in kg N/ha/year for each type of crop.

Precisions added to the publicated version: The symbiotic fixation by leys was taken into account through a constant of 150 kgN/ha of leys multiplied by the area of leys on the farm (Simon *et al.*, 2000; Vertès *et al.*, 2010). The calculation did not take into account the N inputs through atmospheric particle deposits, neither the N outputs through volatilisation, denitrification nor lixiviation.

Four additional hypotheses were related to local farm functioning. In systems with livestock (i) all manure were reused in the system, (ii) all straw and hay were reused for animals, (iii) the crop used to feed the animals was not considered as an output of the system and (iv) only concentrates were purchased to feed animals.

Comparison ranking of mixed crop-livestock systems with 2007 data from the FADN at regional, national and European scales: to evaluate the potential results of local mixed crop-livestock systems compared to specialised systems, we ranked the 4 types of systems on each indicator. The most favourable system for an indicator is ranked 1; the least favourable is ranked 4. For quantitative indicators, the classification was made according to the value, *i.e.* the most favourable systems having the highest Overall Gross margin or the lowest specific costs. Similarly, the classification of farming systems was done according to the number of farms in HEIA type, as it was the least favourable option for the environment (Schiere *et al.*, 2002). The type of system having the lowest percentage of farms in HEIA was the first ranked. The classification of systems according to farm land use was considering the most diversified farm land use.

We compared the ranking of mixed crop-livestock systems with 2007 data from the *Farm Accountancy Data Network* (FADN) at regional scale, *i.e.* farms of the Midi-Pyrénées region, national scale and European scale (FADN, 2011). FADN only considers farms with more than 0.75 work units, while our exhaustive survey of farms included three farmers with off-farm jobs, with less than 0.75 work units. As no indicator of Nitrogen balance was available in the FADN, we compared our results (i) at national scale, to Simon *et al.* (2000) who evaluated the

nitrogen surplus of 555 French farms as a function of the farming system and (ii) at European scale, to other European studies, in which the Nitrogen farm-gate balance was calculated as a function of farming systems: de Koeijer *et al.* (1995) in the Netherlands, Lord *et al.* (2002) in the UK, and Bassanino *et al.* (2007) in Italy.

Data analysis

Sensitivity analysis: we assessed whether diversification allowed mixed crop-livestock systems to reduce risk with respect to fluctuations in the prices of inputs and sales. For that, we performed a sensitivity analysis of fluctuations in the overall gross margin due to variations in the prices of two types of inputs: fertilisers for wheat (all study farms cultivated wheat), and the price of feed concentrates for farms with livestock. To test the potential risk-reducing effects of mixed crop-livestock systems as regards to sales, we analysed fluctuations in the overall gross margin due to variations in the sales price of wheat and beef, because all livestock farms sell beef even if it is not the major item produced for sale by dairy farms.

For each input and sale price considered, the sensitivity analysis was based on the year 2007 (a representative year for French agriculture), 2008 (a rather good year for livestock production) and 2009 (a rather difficult year for livestock production). Variations in overall gross margin between the year 2007 and the year 2008 were calculated as follows:

$$\Delta_{2007,2008} = \text{overall gross margin}_{2008} - \text{overall gross margin}_{2007}$$

As only the price of input varied in the annual costs, fluctuations due to input prices were calculated as follows:

$$\Delta_{2007, 2008} (\text{input}_1) = - (\text{input}_1 \text{ price}_{2008} * \text{input}_1 \text{ quantity used}_{2007}) + (\text{input}_1 \text{ price}_{2007} * \text{input}_1 \text{ quantity used}_{2007}).$$

Variations between 2007 and 2009 were calculated in the same way. A corresponding calculation was made for the fluctuations of overall gross margin due to sale prices that

induced variations in the annual products. The variation in each factor is expressed in percentage of the 2007 overall gross margin per work unit.

Multiple correspondence analysis: a *Multiple Correspondence Analysis* (MCA) was performed to classify local farming systems according to the Schiere and de Wit classification (1995). MCA was based on six qualitative indicators calculated at the farm level (Table 2). In our study, we chose to analyse the cropping system because it was an integral part of all farming systems studied.

Table 2: Indicators of crop management practices selected for the study

| Indicators used | Indicator values | | |
|--|-------------------|------------------------------|---------------------|
| Organic fertilisation | None | Manure | Slurry |
| Mineral fertiliser application (<i>on wheat</i>) | Low < 90 UN/ha | Intermediate 90-130 UN/ha | High > 130 UN/ha |
| Soil amendment | None | Yes | |
| Herbicide treatments (<i>on wheat</i>) | None | 1 | 2 |
| Fungicide treatments (<i>on wheat</i>) | None | 1 | > 2 |
| Type of tillage | Conventional | Minimum | Both |

UN is a Unit of Nitrogen: an organic or mineral amendment corresponding to one kg of Nitrogen per hectare.

Conventional tillage corresponds to a deep tillage between 30-40 cm; Minimum tillage consists of a minimum soil compaction with tillage between 8 cm to 15 cm depth and permanent cover.

The type of organic fertilisation indicated the level of integration between the crop and livestock components. The amount of mineral fertilisation and the number of herbicide and fungicide treatments enabled us to classify systems according to the external inputs used for crop management. The type of tillage enabled us to differentiate NCA from other systems.

Cluster analysis: Farmers' practices were clustered using a k-means clustering on the five first axes coordinates of the MCA, which explained 76.5 % of total variance. We used a k-means clustering with dynamic swarms based on four fixed k-clusters' centroids. We applied a

random partition method on the four centroids, on five dimensions and 48 individuals. Finally, the different farming systems (crop, dairy, beef and mixed crop-livestock farms) were projected onto the MCA factorial map to compare them with the classification of farmers' practices. A Chi-squared test was used to test independence between systems and practices. Analyses were done using R software, version 2.10.1.

Analysis performed for quantitative farm indicators: The same analyses were performed for all quantitative farm indicators. Each quantitative indicator was calculated for each farm. Averages and standard deviations were then calculated for each type of farming system: dairy, crop, beef and mixed crop-livestock systems. Differences between farming systems for each indicator were tested using ANOVA. Analyses were performed with the statistical software R 2.10.1 (R Development Core Team, 2011).

Results

Economic performances according to farming systems

Even if crop farms appeared to have a higher gross margin per work unit than farms with livestock, there was no significant difference between gross margins per work unit as a function of the farming system (table 3). Dairy farms had the highest overall gross margin per ha of UAA ($P < 0.05$) and the highest total costs ($P < 0.01$). Dairy farms also had the highest fertiliser costs while beef farms had the lowest ($P < 0.01$). Mixed crop-livestock farms were in between and fertiliser costs were comparable with those of crop farms. Mixed crop-livestock systems had lower feed costs per cow than dairy farms but significantly higher than beef farms ($P < 0,001$). There was wide variability within farming systems for each of these indicators.

Table 3: Gross margin and specific costs according to the farming system

| | Dairy farms | Beef farms | Crop farms | Mixed farms | P-test |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|--------|
| Overall gross margin (x 1000 €/WU) | 48.9±17.4 | 44.0±27.8 | 67.1±39.2 | 40.4±24.3 | >0.05 |
| Overall gross margin (€/ha) | 1135±235 ^a | 625±359 ^b | 477±140 ^b | 607±278 ^b | * |
| Total costs (€/ha) | 865 ± 580 ^a | 237 ± 102 ^b | 218 ± 74 ^b | 241 ± 194 ^b | ** |
| Fertiliser cost (€/ha) | 87 ± 32 ^a | 43 ± 31 ^b | 77 ± 30 ^c | 71 ± 54 ^c | ** |
| Feed Cost (€/cow) | 620 ± 371 ^A | 56 ± 35 ^B | <i>n.a.</i> | 113 ± 150 ^C | *** |

On the two periods studied, no significant difference was observed between systems regarding sensitivity to the price of fertilisers (P=0.69). Concerning feed concentrates, dairy systems were more sensitive than beef systems to fluctuations in market prices in both comparisons (P=0.002). Concerning fluctuations in the sales price of wheat, crop farms were more sensitive than other farming systems in both comparisons (P<0,001). Beef farms were more sensitive than dairy farms to fluctuations in meat sale prices in both comparisons (respectively P = 0.04 and P = 0.03). In the sensitivity analysis, mixed crop-livestock systems remained intermediate: they were never the most sensitive to either of the variations in the prices of inputs and outputs we tested.

Results of environmental evaluation

Characterisation of farmers' crop management practices: The five MCA first axes explained 76.7% of variance. The first axis (F1), explaining 24.6 % of variance, showed a gradient in the level of inputs used (Figure 1). The second axis (F2), explaining 17.7% of variance, revealed a gradient of tillage practices from conventional tillage to no tillage.

K-means clustering on the five first axes of the MCA distinguished four types of crop management practices among farms. Type 1 and 4 corresponded to NCA with minimum or no tillage. Type 1 used small amounts of inputs (6 farms); type 4 corresponded to intermediate to high use of inputs (3 farms). Type 2 matched the description of HEIA with high use of inputs

and conventional tillage (17 farms). Type 3 was LEIA with low to intermediate use of inputs and conventional tillage (22 farms).

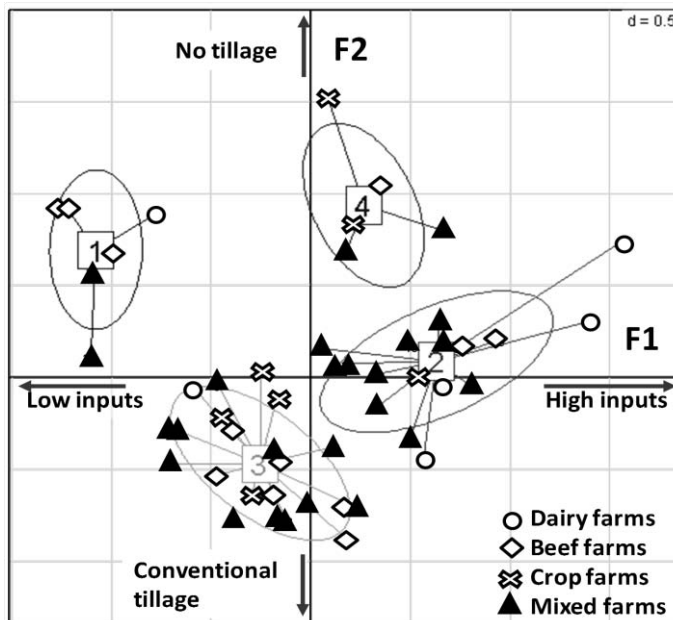


Figure 1: F1-F2 MCA factorial map with superposition of the farming systems and k-mean clustering on crop management practices

The first axis (F1) showed a gradient in the level of inputs used. The second axis (F2) revealed a gradient of tillage practices from conventional tillage to no tillage.

K-means clustering on the five first axes of the MCA distinguished four types of crop management practices among farms. Type 1 and 4 corresponded to NCA (New Conservation Agriculture) with minimum or no tillage. Type 1 used small amounts of inputs (6 farms); type 4 corresponded to intermediate to high use of inputs (3 farms). Type 2 matched the description of HEIA (High External Inputs Agriculture) with high use of inputs and conventional tillage (17 farms). Type 3 was LEIA (Low External Inputs Agriculture) with low to intermediate use of inputs and conventional tillage (22 farms).

A wide range of management practices was observed among farming systems of a similar type. The Chi-squared test revealed a significant link between types of crop practices and types of farming systems (Chi-squared = 17.07, DF = 9, P = 0.048). HEIA and LEIA were the most widely used practices in all the farming systems. Dairy farms mainly used HEIA whereas beef and crop farms mostly used LEIA. Mixed crop-livestock farms used a wide range of practices but the majority were HEIA and LEIA with conventional tillage and intermediate to high use of inputs. NCA (Type 1 and 4) were infrequently represented in any of the farming systems.

Farm land use: mixed crop-livestock and dairy systems had the most diversified land use at farm level (table 4). These two types of systems had less grassland than beef farms but greater diversity. The percentage of permanent grasslands within the total grasslands area is higher in mixed crop-livestock systems than in dairy farms.

Table 4: Farm land use in percentage of UAA as a function of the farming system

| | Dairy farms | Beef farms | Crop farms | Mixed farms | P-value |
|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------|
| Crops | 48 ± 12 ^A | 14 ± 10 ^B | 79 ± 9 ^C | 44 ± 21 ^A | *** |
| Temporary grasslands | 28 ± 11 ^a | 54 ± 19 ^b | 6 ± 11 ^c | 30 ± 15 ^a | ** |
| Permanent grasslands | 16 ± 11 ^a | 31 ± 20 ^a | 6 ± 13 ^b | 20 ± 17 ^a | * |

UAA is the Utilized Agricultural Area, i.e. the total farm hectares dedicated to arable lane, areas always under grass cover and permanent crops.

Nitrogen farm-gate balance: mixed crop-livestock farms had the lowest positive NS, 24.6 ± 26.1 kgN/ha (P<0.01) (table 5). The difference between mixed crop-livestock farms and beef farms (NS of 37.9 ± 23.3 kgN/ha) was not significant. Crop farms had a negative NS of -11.9 ± 34.2 kgN/ha, which corresponds to a potential loss of nitrogen in the soils in 2007.

Table 5: Nitrogen farm-gate balance as a function of the farming system (kg N / ha)

| | Dairy farms | Beef farms | Crop farms | Mixed farms | P-test |
|------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------|
| N _{in} | 135.4 ± 46.9 ^a | 55.4 ± 27.0 ^b | 102.8 ± 28.5 ^c | 82.5 ± 37.5 ^d | ** |
| N _{out} | 74.9 ± 27.9 ^a | 17.5 ± 10.7 ^b | 114.8 ± 24.4 ^c | 57.8 ± 32.3 ^a | ** |
| NS | 60.5 ± 25.3 ^a | 37.9 ± 23.3 ^b | -11.9 ± 34.2 ^c | 24.6 ± 26.1 ^b | ** |

NS (Nitrogen Surplus) is calculated as follows: NS = (Nin- Nout) / UAA.

Nin is the total amount of nitrogen in purchased inputs: feed concentrate, forage (including leys), straw, animals, mineral fertilisers and manure.

Nout is the total amount of nitrogen outputs of the system: animal products such as milk, animals and animal manure; crops, straw and forage that are sold. Nin, Nout and NS are expressed in kgN/year.

In mixed crop-livestock, crop and beef systems, nitrogen inputs level was in correspondence with nitrogen outputs level: i) mixed crop-livestock farms had intermediate nitrogen inputs and outputs; ii) crop farms had high nitrogen inputs and outputs; iii) beef farms had the lowest nitrogen inputs and outputs. This led to a low nitrogen farm-gate balance in these three systems (table 5). Dairy farms had the highest nitrogen inputs and intermediate nitrogen outputs. This imbalance led to a high nitrogen surplus in the dairy farm system (60.5 kg of N /ha), mainly due to the large quantities of purchased concentrates and fertilisers. Considerable variability of NS was observed among farms within each type of farming system.

Mixed-crop livestock systems are efficient thanks to synergies and diversification

According to the indicators used in this study and given the conditions prevailing in the study area, mixed crop-livestock systems were never the most favourable neither the least favourable to economical and environmental dimensions (table 6).

Mixed crop-livestock systems reduce farms' financial risks: concerning farm economics, mixed crop-livestock systems never had the highest gross margin but on-farm autonomy allow mixed crop-livestock system to minimise costs (table 6). In our study, only beef farms had significantly lower feed and fertiliser costs than mixed crop-livestock systems because they maximise the use of grasslands.

Mixed crop-livestock systems were relatively insensitive to fluctuations in inputs and sales prices, in contrast to specialised systems (table 6). This confirmed our hypothesis that diversification makes mixed crop-livestock systems less sensitive to market price fluctuations. Although mixed crop-livestock systems never benefitted from the occasional higher sales price of a product, they were never threatened by lower prices.

Mixed crop-livestock systems are relatively environmental-friendly: according to our environmental classification of crop management practices, mixed crop-livestock systems were classified as intermediate with respect to the other systems (table 6). Half were classified in HEIA, which is the least environmental-friendly option. Some of them tended to become

NCA, such as crop and beef systems. Mixed crop-livestock systems have the higher diversity of farm land use and were shown to represent a lower risk of nitrogen pollution than dairy farms (table 6).

Table 6: *Ranking of farming systems according to the indicators used in the study*

| | Dairy farms | Beef farms | Crop farms | Mixed farms |
|---|-------------|------------|------------|-------------|
| Overall Gross Margin (x1000/ha) | 1 | 2 | 2 | 2 |
| <i>Yearly on-farm difference between products and costs</i> | | | | |
| Total cost (€/ha) | 2 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Total yearly on-farm cost</i> | | | | |
| Fertiliser cost (€/ha) | 3 | 1 | 2 | 2 |
| <i>Total yearly on-farm cost in fertiliser</i> | | | | |
| Feed cost (€/ha) | 3 | 1 | . | 2 |
| <i>Total yearly on-farm feed cost</i> | | | | |
| Sensitivity to the price of concentrates | 2 | 1 | n.a. | 1 |
| <i>(% of Overall Gross margin)</i> | | | | |
| Sensitivity to the wheat sale price (% of Overall Gross margin) | 1 | 1 | 3 | 2 |
| <i>(% of Overall Gross margin)</i> | | | | |
| Sensitivity to the meat sale price (% of Overall Gross margin) | 1 | 3 | n.a. | 2 |
| <i>(% of Overall Gross margin)</i> | | | | |
| Environmental-friendly crop management | 4 | 1 | 2 | 3 |
| <i>Lowest % of farms in HEIA type</i> | | | | |
| Farm land-use | 1 | 2 | 3 | 1 |
| <i>On-farm diversity regarding % of crops, temporary and permanent grasslands</i> | | | | |
| N _{in} (kgN/ha) | 4 | 1 | 3 | 2 |
| <i>Total amount of nitrogen in purchased inputs</i> | | | | |
| NS (kgN/ha) | 3 | 2 | 1 | 2 |
| <i>Difference between farm Nitrogen inputs and outputs</i> | | | | |

1 corresponds to the most favourable system with respect to a given indicator; the same rank was used when there was no significant difference between two systems

Mixed crop-livestock systems appear to be appropriate at larger scales

Comparison with regional assessments: mixed crop-livestock systems appear to be a good compromise with respect to the overall gross margin per ha (2nd) at the regional scale, but the regional average gross margin was higher than in our study. Regional mixed systems had the second highest total costs due to larger amounts of fertiliser and feed purchased than by other systems. A lower level of on-farm autonomy was reached at the regional scale, but higher sales prices for products led to a higher average gross margin.

At the regional scale, mixed crop-livestock farms had the most diversified farm land use. Mixed crop-livestock farms had at a regional scale a higher nitrogen surplus than at the local scale and also a lower rank (3rd) than other farming systems.

Comparison with national and European assessments: French national and European data confirmed the environmental advantages of mixed crop-livestock systems but not the economic advantages.

At the national scale, based on our economic indicators, mixed-crop livestock farms ranked lower than at the local scale. At the national scale, mixed crop-livestock farms had the lowest gross margin and highest fertiliser costs. Feed costs were limited by high forage production. Mixed crop-livestock farms had the most diversified farm land use. At national scale, mixed crop-livestock systems ranked second after crop farms. This ranking is comparable to the results of our local nitrogen balance.

In the European FADN evaluation, mixed crop-livestock farms also had the lowest overall gross margin. Like in our study, they minimised the use of farm inputs and had the lowest fertiliser and feed costs. Mixed crop-livestock farms also had the most diversified land use, whereas European dairy and beef farms only had grasslands and crop farms only had arable land. At the European scale, mixed crop-livestock systems ranked between crop farms with the lowest nitrogen surplus and specialised livestock farms with the highest one. In the British and Italian studies, mixed crop-livestock systems were included in pasture-based beef systems.

Table 7: *Mixed crop-livestock ranking with respect to the three specialised farming systems according to the indicators used in our study at local, regional, national and European scales.*

| | Local scale | Regional scale | National scale | European scale |
|---|-------------|----------------|----------------|----------------|
| Overall Gross Margin (x1000€/ha) | | | | |
| <i>Yearly on-farm difference between products and costs</i> | 2 | 2 | 4 | 4 |
| Total cost (€/ha) | | | | |
| <i>Total yearly on-farm costs</i> | 1 | 3 | 3 | 1 |
| Fertiliser cost (€/ha) <i>Total yearly on-farm cost in fertiliser</i> | 2 | 3 | 4 | 1 |
| Feed cost (€/ha) | | | | |
| <i>Total yearly on-farm feed cost</i> | 2 | 3 | 2 | 1 |
| Farm land use | | | | |
| <i>On-farm diversity regarding % of crops, temporary and permanent grasslands</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| N-surplus (kgN/ha) | | | | |
| <i>Difference between on-farm nitrogen inputs and outputs</i> | 2 | 3 | 2 | 2 |

1 corresponds to the most favourable system with respect to a given indicator.

Discussion

An evaluation of local mixed crop-livestock systems in line with literature.

According to our results, mixed crop-livestock systems ensure the financial security of farms, in minimising costs. These results are in line with the literature (Hendrickson *et al.*, 2008; Vermersch, 2007). Mixed crop-livestock systems minimise external inputs thanks to synergies between components particularly fertiliser (Wilkins, 2008) and feed (Russelle *et al.*, 2007). Diversification allows mixed crop-livestock systems to be less sensitive to inputs and sales price fluctuations, in accordance with Wilkins (2008) and Vermersch (2007).

On the environmental dimension, mixed crop-livestock systems had the most diversified farm land use, what is known to enhance birds and insects biodiversity through spatial heterogeneity (Fahrig *et al.*, 2011). Mixed crop-livestock systems were shown to represent a

lower risk of nitrogen pollution than the other systems, in accordance with Russelle *et al.*, 2007 and Schiere and Kater (2001). Nutrient cycling is one way of mitigating external inputs in autonomous systems (Schiere *et al.*, 2002).

Impact of territorial potentialities on farms' economic

The economic advantages identified in our study were not always confirmed at larger scales. The location of the agricultural system is in fact a key component in impact assessment (Kruska *et al.*, 2003). Farming systems diversity is linked to the specific soil, climatic, and historical characteristics of each small region (Cochet and Devienne, 2006). The Midi-Pyrénées region is heterogeneous and composed of three main “small regions”. Intensive crop farms are located in the arable land area; small livestock systems are located in the mountainous area. Our survey was conducted in part of the third small region, where intensification exists but is limited by soil and climatic conditions. Location of the study site could partly explain the differences observed with the regional scale. At national and European scales, territories are obviously more contrasted, which could explain the larger differences observed between farming systems at these scales. In Europe, most of the agricultural lands, in a favourable pedoclimatic context, have allowed specialisation and intensification either in cash crops or livestock production (Wilkins, 2008). Mixed crop-livestock systems are mostly found in unfavoured areas, where they cannot produce as good economic results. Their potential advantages are often unknown.

Mixed crop-livestock systems have been marginalized by the European agricultural development. Two major factors could explain this. The globalisation of the market and the CAP subsidies encouraged European farmers to adopt logic of economies of scale (Vermersch, 2007), farmers enlarged and specialised their farm to reduce the unitary price of inputs. On the contrary, mixed crop-livestock were based on the logic of diversification and economies of scope, lowering their costs through combined elaboration of products (Vermersch, 2007). The second factor is more internal: the European availability of agricultural work force is continuously decreasing. Mixed crop-livestock systems need a large level of labour to combine both crops and livestock. In particular in unfavoured areas, such as in our case-study, the lack of successors is high and led to abandonment of mixed crop-livestock systems even for farmers that did not want to (Ryschawy *et al.*, 2011).

Wide within system variability observed for each indicator

In our study, wide variability within local farming systems was observed for each indicator. Within system variability appeared to be as important as between system variability. Our exhaustive survey highlighted within system variability throughout the study area, as all commercial farms currently working land in the study area were included.

Within system variability could also partly depend on our system of classification, in which only farms with more than 10% of total production coming from non-livestock activities were considered as mixed crop-livestock systems. Dairy farms and beef farms which produced crops to feed animals were consequently excluded from mixed crop-livestock systems. From an agronomic point of view, some dairy and beef farms functioned in the same way as mixed crop-livestock systems: the farmers had same rationales, for example, maximising autonomy at the farm scale (Russelle *et al.*, 2007). Thus in research studies, the same name used for a production system can cover a wide range of systems, e.g. the evaluation of nitrogen surplus according to farming systems, see de Koeijer *et al.* (1995) in the Netherlands versus Lord *et al.* (2002) in the UK.

The wide variability observed within mixed crop-livestock systems was also linked to the wide range of farmers' practices. Advantages exist only if coordination between animal and crops is maximised through careful management (Hendrickson *et al.*, 2008). Some systems referred to as 'mixed crop-livestock systems' could for example correspond to the juxtaposition of two intensive production units with little coordination. Such systems correspond to the definition of Seré *et al.* (1996), even if they do not increase on-farm autonomy. Other studies revealed major variability of farmers' practices within the same farming system (Joannon *et al.*, 2008). Vayssières *et al.* (2009) also found very different NS between comparable farming systems in similar soil and climatic conditions and a similar level of intensification.

Addressing farming types is only the first step in describing farms' economic and environmental dimensions, and on its own, does not suffice. Differences between farmers' practices and strategies should be explained through a Farming System approach. As recommended by Gibon *et al.* (1999), a better understanding of the whole livestock system should allow us to link our results with knowledge on farmers' decisions and practices.

Conclusion

This study reports on an economic and environmental comparison between mixed crop-livestock systems and specialised systems using indicators. When the economic and environmental dimensions were taken into consideration, mixed crop-livestock systems rarely turned out to be the most favourable system but were never the least favourable. These results are in line with those reported in the literature. The comparison of our results with regional, national and European data allowed us to confirm some environmental advantages of mixed crop-livestock farms but not economical ones.

The importance of the local territorial context in the potential economic advantages of mixed crop-livestock systems was underlined. Mixed crop-livestock systems are mostly found in unfavoured areas, where economic results are limited by soil and climatic conditions. Mixed crop-livestock systems have been marginalized by the European agricultural development. The globalisation of the market and the CAP subsidies encouraged European farmers to enlarge and specialise their farm to achieve economies of scale. The lack of agricultural work force in Europe could also partly explain the abandonment of mixed crop-livestock systems. The wide within system variability observed for each indicator underlined that addressing farming types is only a first step. An integrated approach of the whole mixed crop-livestock farm as a Farming System is needed to link our results with knowledge on farmers' decisions and practices.

Acknowledgments:

We thank for funding this study, the French National Agency for Research (ANR), under the BiodivagriM programme and the Midi-Pyrenees Region, under the INRA-Region research programme - project "CHAPAY". We also thank the local actors of the French 'Coteaux de Gascogne', involved in this study.

References

- Agreste 2010. *Agreste- Rapports Publics - RICA Réseau d'Information Comptable Agricole - Tableau standard RICA 2002-2008.*
- Antrop M 2005. *Why landscapes of the past are important for the future? Landscape and Urban Planning* 70(1), 21-34.
- Bassanino M, Grignani C, Sacco D and Allisiardi E 2007. *Nitrogen balances at the crop and farm-gate scale in livestock farms in Italy. Agriculture, Ecosystems & Environment* 122, 282-294.
- Choisis JP, Sourdril A, Deconchat M, Balent G and Gibon A 2010. *Understanding regional dynamics of mixed crop-livestock agricultural systems to support rural development in South-western France uplands. Cah. Agric* 19 (2), 97-103.
- Cochet H and Devienne S 2006. *Operation and economic performance of farming systems: a regional approach. Cah. Agric* 15(6), 578–583.
- CORPEN 1988. *Bilan global annuel à l'exploitation de l'azote. 36 pp.*
- de Koeijer TJ, Renkema JA and van Mensvoort JJM 1995. *Environmental-economic analysis of mixed crop-livestock farming. Agricultural Systems* 48, 515-530.
- European Union (E.U.) 2011. *CAP Policy. Retrieved December 2, 2001, from http://ec.europa.eu/agriculture/index_fr.htm.*
- FADN Public database 2011. *FADN Public Database. Retrieved August 12, 2011 from <http://ec.europa.eu/agriculture/rica/database>*
- FAO 1995. *Digital Soil Map of the World and Derived Soil Properties. Land and Water Digital Media Series 7, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.*
- Fahrig L, Baudry J, Brotons L, Burel FG, Crist TO, Fuller RJ, Sirami C, Siriwardena GM and Martin JL 2011. *Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. Ecology Letters* 14, 101-112.
- Gibon A 2005. *Managing grassland for production. the environment and the landscape. Challenges at the farm and the landscape level. Livestock Production Science* 96, 11-31.
- Gibon A, Sibbald AR, Flamant JC, Lhoste P, Revilla R, Rubino R and Sorensen JT 1999. *Livestock farming systems research in Europe and its potential contribution for managing towards sustainability in livestock farming. Livestock Production Science* 61, 121-137.

- Hendrickson JR, Hanson JD, Tanaka DL and Sassenrath GF 2008. *Principles of integrated agricultural systems : Introduction to processes and definition. Renewable Agriculture and Food Systems* 23(4), 265-271.
- Joannon A, Bro. E, Thenail C and Baudry J 2008. *Crop patterns and habitat preferences of the grey partridge farmland bird. Agronomy for Sustainable Development.* 28 (3), 379-387
- Kruska RL, Reid RS, Thornton PK, Henninger N and Kristjanson PM 2003. *Mapping livestock-oriented agricultural production systems for the developing world. Agricultural Systems* 77, 39-63.
- Lord E, Anthony S and Goodlass G 2002. *Agricultural nitrogen balance and water quality in the UK. Soil Use and Management* 18, 363–369.
- Mazoyer M and Roudart L 2006. *A history of world agriculture from the neolithic age to the current crisis. Earthscan, New York.* 528 pp.
- Mottet A, Ladet S, Coqué N and Gibon A 2006. *Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees. Agriculture, Ecosystems & Environment* 114, 296-310.
- Russelle MP, Entz MH and Franzluebbbers AJ 2007. *Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. Agronomy Journal* 99, 325-334.
- Ryschawy J, Choisis N, Choisis JP and Gibon A 2011. *Understanding how farmers last over the long term : a typology of trajectories of change in farming systems. A French case-study. In 62nd EAAP Annual Meeting – Stavanger, Norway 29 August - 2 September 2011, pp.5.*
- Schiere JB and de Wit J 1995. *Feeding of urea ammonia treated straw in the tropics. PartII : Assumption on nutritive values and their validity for least cost ration formulation. Anim. Feed Sci. Technol.* 51, 45–63.
- Schiere H and Kater L 2001. *Mixed crop-livestock farming : a review of traditional technologies based on literature and field experiences. FAO Animal production and health paper, 73 pp.*
- Schiere JB, Ibrahim MNM and van Keulen H 2002. *The role of livestock for sustainability in mixed farming :criteria and scenario studies under varying resource allocation. Agriculture, Ecosystems and Environment* 90, 139-153.
- Séré C and Steinfeld H 1996. *World livestock production systems: Current status. issues and trends. FAO Animal Production and Health Paper* 127, Rome.
- Simon JC and Le Corre L 1992. *Le bilan apparent de l'azote à l'échelle de l'exploitation agricole : Méthodologie, exemple de résultats. Fourrages* 129, 79-94.

- Simon JC, Grignani C, Jacquet A, Le Corre L, and Pagès J 2000. Typology of nitrogen balances on a farm scale: research of operating indicators. Agronomy for Sustainable Development 20 (2), 175-195*
- Vayssières J, Guerrin F, Paillat JM and Lecomte P 2009. GAMEDE : A global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises Part I - Whole farm dynamic model. Agricultural Systems 101, 128-138.*
- Vermersch D, 2007 L'éthique en friche, Editions QUAE INRA, collection update sciences and technologies 2007, Paris. 117pp.*
- Vertès F, Jeuffroy MH, Justes E, Thiébeau P, Corson M 2010. Connaître et maximiser les bénéfices environnementaux liés à l'azote chez les légumineuses, à l'échelle de la culture, de la rotation et de l'exploitation. Innovations Agronomiques 11, 25-44*
- Veysset P, Bebin D and Lherm M 2005. Adaptation to Agenda 2000 (CAP reform) and optimisation of the farming system of French suckler cattle farms in the Charolais area: a model-based study. Agricultural Systems 83, 179-202.*
- Wilkins RJ 2008. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences 363, 517-525.*

Article 3: Paths to last in mixed crop-livestock farming: lessons from an assessment of farm trajectories of change

J. Ryschawy^a, N. Choisis^a, J.P. Choisis^a and A. Gibon^a

^a INRA, UMR 1201 Dynafor, INPT/ENSAT, F-31326 Castanet-Tolosan.

Corresponding author: Julie RYSCHAWY. E-mail: julie.ryschawy@toulouse.inra.fr

Abstract

Mixed crop-livestock systems, combining livestock and cash crops at farm level, are considered to be suitable for sustainable intensification of agriculture. Ensuring the survival of mixed crop-livestock systems is a challenge for European agriculture: the number of European mixed crop-livestock systems has been decreasing since 1970. Analysis of farming systems dynamics may elucidate past changes and the forces driving this decline. The objectives of this study were i) to identify the diversity of paths that allowed the survival of mixed crop-livestock farming, and ii) to elucidate the driving forces behind such survival. We analysed the variety of farm trajectories from 1950 to 2005. We studied the entire farm population of a case study site, located in the 'Coteaux de Gascogne' region. In this less favoured area of south-western France, farmers have limited specialisation. Currently half of the farms use mixed crop-livestock systems. The data set of 20 variables for 50 farms based on six 10-year time steps was collected through retrospective surveys. We used a two step-analysis including (i) a visual assessment of the whole population of individual farm trajectories, and (ii) a computer-based typology of farm trajectories based on a series of multivariate analyses followed by automatic clustering. The European Common Agricultural Policy, market globalisation and decreasing workforce availability were identified as drivers of change that favoured the specialisation process. Nevertheless, farmers' choices and values have opposed against these driving forces, ensuring the survival of some mixed crop-livestock farming systems. The trajectories were clustered into five types, four of which lead to mixed crop-livestock systems. The first type was the maximisation of autonomy by combining crops and livestock. The second type was diversification of production to exploit economies of

scope and protect the farm against market fluctuations. The two other types involved enlargement and progressive adaptation of the farm to the familial workforce. The survival of mixed crop-livestock systems in these two types is largely dependent on workforce availability. Only one type of trajectory, based on enlargement and economies of scale, did not lead to mixed crop-livestock systems. In view of the current evolution of the driving forces, maximising autonomy and diversification appear to be suitable paths to deal with current challenges and maintain mixed crop-livestock systems in Europe.

Keywords

Farm trajectories; farming systems research; mixed crop-livestock farming; farmer participatory research

Implications

There is renewed interest worldwide in mixed crop-livestock systems as economically and environmentally sustainable farming systems. Nevertheless, mixed crop-livestock systems have been declining in Europe. The survival of mixed crop-livestock systems is therefore a challenge for European agriculture. Understanding the paths leading to mixed crop-livestock systems and the underlying driving forces should contribute to maintaining such systems.

Introduction

Mixed crop-livestock systems, combining livestock and cash crops at farm level, are considered to be a good way to achieve sustainable intensification of agriculture (Russelle *et al.*, 2007; Ryschawy *et al.*, 2012; Wilkins, 2008). Such systems were common in Europe in 1950 as farms were diversified and self-sufficient (Mazoyer and Roudart, 2006). Since 1950, European agriculture has undergone major changes, which accelerated after 1970, due to the

modernisation and intensification (Antrop, 2005). In particular, 1950 marked the beginning of the evolution of traditional mixed crop-livestock farming systems into diverse variations (Poux, 2004). The number of European mixed crop-livestock farms has decreased since 1970 (-70% between 1975 - 1995) (EC, 1999). An understanding of the changes leading to this decline may help Europe maintain such farming systems. Analysis of farming system dynamics have described changes in the past, and the underlying driving forces (Garcia-Martinez *et al.*, 2008). Some paths have allowed mixed crop-livestock systems persist, whereas other have led to specialised farming systems. The objectives of this study were i) to assess the diversity of “paths to last” in mixed crop-livestock farming, and ii) to elucidate the driving forces and the conditions involved.

Materials and methods

Case study site and research context

The study site was the ‘Coteaux de Gascogne’, located in the Pyrenean Piedmont in southwestern France. It is an upland area where agricultural specialisation has been limited (Choisis *et al.*, 2010). Agro-ecological zoning (FAO, 1995) classifies the region as a temperate area with frequent summer droughts. Due to the type of soils, the steep slopes and the climatic conditions, grasslands remain dominant throughout the *Utilized Agricultural Area* (UAA).

The case study site is part of the ‘European Long-Term Ecological Research’ network. An interdisciplinary research programme involving local actors is underway to address long-term relations between landscape, agriculture and biodiversity (Choisis *et al.*, 2010).

Half of the existing farms in our study area are mixed crop-livestock farms, with grass-based cattle production and cash crops. Some farms have complementary livestock production (i.e. force-feeding ducks or fattening pigs). The other farms in the area are specialised either in cash crops (14%) or cattle production (39%) (Ryschawy *et al.*, 2012).

Farm population studied and data collection

Data were collected at the beginning of 2007, for 56 of the 61 farms still active. Some of the information required for this study was not available for six farms, so 50 farms were included in this analysis. These 50 farms covered 86% of the UAA in the case study site (≈ 3440 ha on 4000 ha).

We adapted the survey method developed by Mottet *et al.* (2006) for integrated and ‘spatially-explicit’ assessment of socio-technological change in farms, and collected data related to (i) farm structure, (ii) technical-economic practices and (iii) land-use practices. Historical data for 1950 to 2005 were collected using a retrospective semi-open questionnaire. Secondary data on socio-economic indicators such as markets, agricultural policies, and farm dynamics were collected at the municipal and cantonal levels from official statistics (Agreste, 2010), unpublished scientific reports and interviews with local advisers. We also collected the farm orientations for 2012 (mixed crop-livestock, beef farms, dairy farms or crop farms) to compare current farm orientations to those we expected from the typology of farm trajectories of change.

Designing data to depict the temporal patterns of farm change

Selecting the appropriate time step to depict individual patterns of change are major methodological issues (Cialdella *et al.*, 2009; Rueff *et al.*, 2012). We chose a 10-year time step: 1950-1960; 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990; 1991-2000 and a half time step 2001-2005. This allowed description of the major changes over the whole period. A shorter time step would not have been appropriate to study long-term strategies, as more year x variables could be confusing.

The data collected were recorded in a relational and georeferenced database (DYNAFARM-COTO®). We organized the 30 available variables into six categories. The ‘land’ category took into account the evolution of farm occupancy, e.g. the evolution of the UAA and its proportion of total land tenancy. The ‘labour force’ category provided information on changes in the labour force, and in particular the involvement of each generation on the farm. We created ‘livestock subsystem’ and ‘crop subsystem’ categories, providing information on the major changes in both crops and livestock subsystems. The degree of diversification is a key

component of mixed crop-livestock systems (Ryschawy *et al.*, 2012), and this was assessed through changes in the number and type of on-farm ‘production units’. The ‘investments’ category provided information on all investments in buildings, equipment and land improvement. Other important decisions mentioned by farmers, and the year it was taken, were also recorded.

Data analysis

We used a two-step method to assess the variety of individual trajectories of change: (i) a visual assessment based on the construction of synoptic diagrams and ii) a computer-based typology of farm trajectories.

Visual assessment: We developed a graphical method, inspired by Moulin *et al.* (2008). Each of the 50 individual farm histories was summarised in a synoptic diagram, using graphic conventions. A horizontal timeline represented the six time-steps from 1950 to 2005. Changes in the farming systems were classified according to the six categories of variables described above (far left column). Indicators and their respective evolution were placed on the corresponding time-step. Arrows pointing up and down indicated the increase or decrease, respectively, for each category, and the corresponding size was indicated. The entry of a new generation of farmers and the year were indicated on the timeline. Triangles depict memorable events that farmers said had affected farm evolution, i.e. disturbances affecting the system (Dedieu, 2009).

The visual assessment helped us i) to understand the major changes in each farm and ii) to select appropriate variables to distinguish the trajectories of each farm. We assessed similarities and differences between the 50 synoptic diagrams to identify the local trends. A set of 20 quantitative and qualitative variables were selected from the 30 available (Table 1); the ten variables excluded illustrated trends shared by all farms. For example, all farms had permanent grasslands from 1950 to 2005: their presence was therefore not discriminating. As farmers did not remember the exact area of each crop cultivated since 1950, each crop was scored as present or absent.

Statistical analysis of farm evolution: We adapted a method developed by Dolédec and Chessel (1987) and first adapted by Gibon *et al.* (1999a) to study agricultural changes. Like Garcia-Martinez *et al.* (2008), we used this method to distinguish between the effects of i) the farm structure and functioning (internal factors) and ii) the farm environment (external factors), in relation to time. Dolédec and Chessel (1987) proposed using a data table, Z , composed of p continuous variables, s observations and t dates ($n = s*t$); in our case $p = 20$ variables; $s = 50$ farms; $t = 6$ dates. In the matrix Z , each data corresponds to the value of a given variable k , at a given date i and for a given farm j . Unlike previous studies, we used Hill and Smith analysis (Hill and Smith, 1976) to decompose the total variance of Z . This allows simultaneous consideration of categorical (qualitative) and continuous (quantitative) data. We obtained six tables through the decomposition of the total variance of table Z in three orthogonal axes (farms, dates and their interaction). One table (T) corresponds to the deviation of each farm from the farm average: table T summarises inter-farm trajectories. Table T was therefore used to build our typology of trajectories.

Principal components analysis (PCA) was performed on table T to reduce its size and identify the main factors that summarise the changes observed. According to the Kaiser criterion, we selected the four factors with eigenvalues greater than one. The four main factors of PCA explained 63.1% of the total variance between the farm trajectories. These four factors were subjected to *Hierarchical Cluster Analysis* (HCA) (with squared Euclidean distance and Ward's aggregation method) to classify farms according to their pattern of evolution. The temporal profiles of the 50 farms were analysed by k-means clustering based on the fixed HAC-clusters' centroids, to establish the final typology. We applied a random partition method with dynamic swarms, to maximise the between-classes inertia. R 2.12.0 software (R Development Core Team, 2011) was used for all statistical analyses.

Table 1. Variables describing the individual trajectories of change of the farm population

| Category | Indicator of | Variable used in each decade | Abbreviation | Variable type |
|---------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------|--|
| Land | Total size of the farms | Total Utilized Agricultural Area | UAA | Quantitative |
| | Tenant farming | Percentage of land tenancy in UAA | TF | Quantitative |
| Labour force | Size of labour force on the farm | Total Agricultural Work Units | AWU | Quantitative |
| | Changing generation | Arrival of a new generation | NG | Qualitative |
| | Generations working together | No of generations working | NoG | Quantitative |
| Production units | Beef production | Presence of beef cattle | Beef | Qualitative |
| | Dairy production | Presence of dairy cows | Dairy | Qualitative |
| | Cash crop production | Presence of cash crops | Crop | Qualitative |
| | On-farm diversification | No of production units | PU | Quantitative |
| Livestock subsystem | Size of herd | No. of head of cattle | Nocow | Quantitative |
| | Innovation in herd feeding | Use of maize silage | Msil | Qualitative |
| | Specialisation within cattle herd | Major breed within the herd | Breed | Qualitative (<i>Meat, Dairy, Local, Dual purpose</i>) |
| | | | Maize | Qualitative |
| | | | Gsil | Qualitative |
| Crop subsystem | Intensification of cropping system | Presence of maize | Maize | Qualitative |
| | Innovation in grassland management | Presence of grass silage | Gsil | Qualitative |
| | Use of temporary grasslands | Presence of temporary grasslands | TG | Qualitative |
| | Adoption of new crops | Adoption of soya or rapeseed | NewC | Qualitative |
| Investments | Improvement of cropping system | Drainage improvements | Drain | Qualitative |
| | Crop management | Use of irrigation | Irri | Qualitative |
| | Investment in sheds | No of sheds built | Build | Quantitative |
| | Total investments on farm | Investments presence | Inv | Qualitative |

Qualitative variables correspond to either "Presence" or "Absence" for each decade

To analyse changes in each type, we calculated means and standard deviations of variables for each type of trajectory. We evaluated the current percentages of mixed crop-livestock systems within each type to identify those allowing survival of such systems. Mixed crop-livestock systems were defined according to Seré *et al.* (1996): 'Livestock systems in which more than

10 percent of the dry matter fed to animals comes from crop by-products or stubble, or more than 10 percent of the total value of production comes from non-livestock farming activities’.

Drivers of change: We discussed the typology of farm trajectories of change with ten local farmers and their local adviser at a collective meeting. We asked them to give their views on the evolution of the local socio-economic context, and in particular, on the drivers of change that had an influence on the survival of mixed crop-livestock farms. The collective meeting contributed to validate the typology and to check that essential elements had not been missed due to the length of the time step.

Evaluation of result reliability: We discussed our typology with 12 farmers through individual interviews (two farmers per type and subtype). We first presented the whole typology to each farmer without indicating the classification of his/her farm. We asked him/her indicate the type of trajectory corresponding to his/her farm. The two classifications were compared. The interviews were also informative about the interpretation of the types.

Results

A wide variety of individual farm trajectories of change

Clustering of farm trajectories. In addition to the general trends (Table 2), there was marked diversity in the individual trajectories. The four first factors of the PCA explained respectively 21.1%, 16.5%, 15.1% and 10.4% of the total inertia. Factor 1 (*intensification*) corresponded to a gradient ranging from traditional systems to substantial intensification and land improvement. Factor 2 (*beef orientation*) corresponded to a gradient from beef cattle orientation to dairy cattle orientation. Factor 3 (*household model*) was a gradient from a stem family model to a nuclear family model. Factor 4 (*type of land use*) was a gradient of land use from grasslands to cash crops.

Table 2: Main changes in average farm characteristics after 1950

| | 1950-1959 | 1960-1969 | 1970-1979 | 1980-1989 | 1990-1999 | 2000-2005 |
|--|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| UAA (ha) | 28±25 | 32±25 | 44±33 | 55±35 | 75±56 | 87±69 |
| TF (% UAA) | 0 | 0 | 9 | 13 | 29 | 41 |
| AWU | 2.0±0.8 | 2.0±0.8 | 1.9 ±0.7 | 1.7±0.7 | 1.7±0.9 | 1.4±0.9 |
| NbG | 1.2±0.4 | 1.3±0.5 | 1.4±0.5 | 1.3±0.5 | 1.4±0.5 | 1.2±0.4 |
| PU | 2.2±0.9 | 2.0±0.8 | 1.9±0.8 | 2.0±0.7 | 1.9±0.7 | 1.6±0.7 |
| Livestock production (% of farms) | 100 | 100 | 99 | 97 | 95 | 80 |
| Beef (% of farms) | 97 | 90 | 73 | 73 | 73 | 62 |
| Dairy (% of farms) | 3 | 10 | 26 | 24 | 22 | 18 |
| Cash crop (% of farms) | 52 | 52 | 64 | 68 | 68 | 66 |
| Ncow | 15±8 | 19±8 | 25±14 | 34±17 | 39±21 | 46± 33 |
| Breed | Local | Local | Specialised | Specialised | Specialised | Specialised |
| TG (% of farms) | 46 | 55 | 55 | 68 | 79 | 89 |
| NewC (% of farms) | 5 | 7 | 17 | 33 | 47 | 50 |
| Msil (% of farms) | 0 | 5 | 17 | 19 | 31 | 35 |
| Irri (% of farms) | 0 | 0 | 5 | 10 | 26 | 35 |
| Drain (% of farms) | 0 | 0 | 0 | 6 | 15 | 18 |
| Inv (%of farms) | 2 | 16 | 46 | 54 | 66 | 42 |

Means ±standard deviation are given for quantitative variables; the % of presence for qualitative variables.

Clustering led to the identification of five clusters of farm trajectories (Figure 1 shows the projection of the five clusters on the first PCA factorial map).

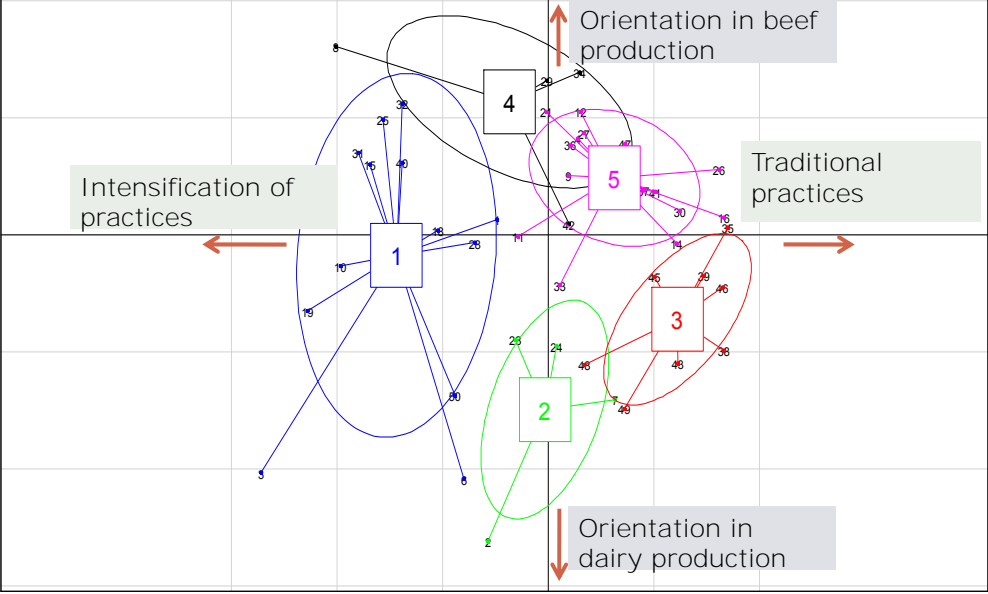


Figure 1: Projection of the five types of trajectories of change on the PCA F1-F2 factorial map

Factor 1, which explained 21.1% of between-farm variance, corresponded to a range from traditional systems to substantial intensification and land improvement. Factor 2, which explained 16.5% of between-farm variance, corresponded to a gradient from an orientation of livestock production in beef cattle to an orientation in dairy cattle. HAC and K-means clustering on the four main factors of PCA distinguished five types of trajectories of change among farms.

Elucidation of clusters: The values of some variables illustrating the changes in each type of trajectory are summarised in table 3.

Type 1 (13 farms) was marked by a relatively stable number of PU (1.5). Two thirds of the farms maintained both beef cattle and crop productions; the other third oriented towards dairy production, with crop production to feed the herd. The UAA increased gradually, by 40 ha on average for the whole period. Farms were likely to adopt innovations to feed the herd, e.g. maize silage and temporary grassland, for 80%, allowing greater feed production. Irrigation was never introduced. There were innovations in livestock feeding. Land-use combinations and practices favoured substantial autonomy through interactions between livestock and crops. Four of the 13 farms of type 1 (31%) are currently mixed crop-livestock systems.

Table 3: Trends of change observed in farm characteristics according to the type of trajectory

| | Type 1 | Type 2 | Type 3 | Type 4 | Subtype 5_1 | Subtype 5_2 |
|----------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| Number of farms | 13 | 5 | 8 | 6 | 10 | 8 |
| UAA 1955 (ha) | 24.1 ± 8.2 | 26.4 ± 3.4 | 25.6 ± 10.8 | 52.5 ± 60.7 | 25.6 ± 12.3 | 29.8 ± 12.7 |
| UAA 1975 (ha) | 36.0 ± 22.0 | 43.3 ± 20.3 | 30.4 ± 15.4 | 96.3 ± 63.4 | 39.5 ± 18.1 | 36.8 ± 13.4 |
| UAA 1995 (ha) | 59.4 ± 33.6 | 95.0 ± 38.0 | 53.3 ± 54.2 | 144.2 ± 81.4 | 82.9 ± 57.8 | 43.2 ± 17.1 |
| UAA 2005 (ha) | 68.1 ± 34.7 | 123.2 ± 19.7 | 55.3 ± 53.5 | 179.8 ± 53.0 | 110.7 ± 87.0 | 21.5 ± 14.3 |
| PU 1955 | 1.4 ± 0.8 | 2.0 ± 0.0 | 2.6 ± 0.7 | 2.2 ± 0.4 | 2.7 ± 0.6 | 2.1 ± 1.1 |
| PU 1975 | 1.3 ± 0.5 | 2.6 ± 0.5 | 2.1 ± 0.6 | 1.5 ± 0.5 | 2.5 ± 0.6 | 1.9 ± 0.7 |
| PU 1995 | 1.5 ± 0.7 | 2.0 ± 0.0 | 2.3 ± 0.7 | 1.8 ± 0.4 | 2.2 ± 0.4 | 2.0 ± 0.9 |
| PU 2005 | 1.5 ± 0.7 | 1.2 ± 0.7 | 1.6 ± 0.7 | 1.3 ± 0.5 | 1.5 ± 0.0 | 1.0 ± 0.0 |
| AWU 1955 | 1.8 ± 0.6 | 2.2 ± 0.3 | 2.6 ± 1.1 | 2.4 ± 0.8 | 2.0 ± 0.5 | 1.6 ± 0.7 |
| AWU 1975 | 1.8 ± 0.7 | 2.1 ± 0.2 | 2.3 ± 1.1 | 2.3 ± 0.4 | 2.1 ± 0.6 | 1.4 ± 0.5 |
| AWU 1995 | 1.6 ± 0.6 | 2.5 ± 1.6 | 1.6 ± 0.7 | 2.2 ± 0.8 | 1.6 ± 0.8 | 1.1 ± 0.2 |
| AWU 2005 | 1.2 ± 0.6 | 2.2 ± 0.8 | 1.7 ± 0.8 | 2.3 ± 1.1 | 1.2 ± 0.5 | 0.5 ± 0.3 |
| Ncow 1955 | 13.0±3.4 | 17.6±4.3 | 13.9±7.1 | 19.2±8.6 | 14.6±5.4 | 15.9±8.6 |
| Ncow 1975 | 20.4 ± 8.4 | 20.2 ± 9.1 | 26.5 ± 8.1 | 38.7 ± 25.9 | 23.7 ± 6.5 | 25.3 ± 9.6 |
| Ncow 1995 | 31.8 ± 16.9 | 45.4 ± 15.2 | 42.9 ± 26.0 | 48.8 ± 30.6 | 36.3 ± 16.1 | 33.9 ± 14.7 |
| Ncow 2005 | 36.8 ± 22.3 | 68.0 ± 14.2 | 45.0 ± 21.8 | 80.3 ± 44.6 | 40.8 ± 23.5 | 39.8 ± 16.6 |
| Beef 1955/1975 (%) | 85 / 62 | 100 / 60 | 100 / 88 | 100 / 83 | 100 / 100 | 100 / 88 |
| Beef 1975/1995 (%) | 62 / 69 | 60 / 0 | 88 / 63 | 83 / 100 | 100 / 90 | 88 / 100 |
| Beef 1995/2005 (%) | 69 / 77 | 0 / 0 | 63 / 50 | 100 / 83 | 90 / 90 | 100 / 38 |
| Dairy 1955/1975 (%) | 15 / 39 | 0 / 100 | 0 / 75 | 17 / 0 | 0 / 0 | 0 / 12.5 |
| Dairy 1975/1995 (%) | 39 / 31 | 100 / 100 | 75 / 25 | 0 / 0 | 0 / 0 | 12.5 / 0 |
| Dairy 1995/2005 (%) | 31 / 31 | 100 / 80 | 25 / 13 | 0 / 0 | 0 / 10 | 0 / 0 |
| Irri 1955/1975 (%) | 0 / 0 | 0 / 0 | 0 / 0 | 0 / 33 | 0 / 0 | 0 / 0 |
| Irri 1975/1995 (%) | 0 / 0 | 0 / 80 | 0 / 13 | 33 / 83 | 0 / 0 | 0 / 0 |
| Irri 1995/2005 (%) | 0 / 0 | 80 / 80 | 13 / 13 | 83 / 67 | 0 / 0 | 0 / 0 |
| Msil 1955/1975 (%) | 0 / 8 | 0 / 40 | 0 / 38 | 0 / 0 | 0 / 0 | 0 / 0 |
| Msil 1975/1995 (%) | 8 / 31 | 40 / 40 | 38 / 38 | 0 / 0 | 0 / 0 | 0 / 25 |
| Msil 1995/2005 (%) | 31 / 31 | 40 / 40 | 38 / 50 | 0 / 0 | 0 / 0 | 0 / 0 |
| Inv 1955/1975 (%) | 23 / 46 | 0 / 80 | 37 / 50 | 0 / 50 | 0 / 40 | 13 / 40 |
| Inv 1975/1995 (%) | 46 / 54 | 80 / 80 | 50 / 50 | 50 / 83 | 40 / 70 | 40 / 88 |
| Inv 1995/2005 (%) | 54 / 31 | 80 / 60 | 50 / 50 | 83 / 67 | 70 / 60 | 88 / 25 |

Means ± standard deviation are given for quantitative variables; the % of presence for qualitative variables.

Type 2 (5 farms) involved an orientation for dairy production before 1975. The farms enlarged their structure to increase dairy production while specialising. The UAA has increased 5-fold and the dairy herd 4-fold. Enlargement was combined with the use of irrigation and mechanisation allowing maize silage production to feed the herd. Technological innovations were widely adopted. The farms have been substantially modernised through high investment since 1975. AWU remained high throughout period in four out of five farms. All farms of type 2 are currently specialised.

Type 3 (8 farms) remained small in comparison to other types and at least two generations were still working together. This workforce availability combined with a small UAA allowed the survival of diversified mixed crop-livestock farming with, at least, cattle and crop production. PU decreased from 2.6 to 1.6 due to the disappearance of some small livestock production units. Some innovations to intensify beef production on a small UAA, such as maize silage have been adopted. Investment was low: only two of the eight farms were still investing in 2001-2005. Crops were produced to feed livestock units and therefore do not appear as a production unit for sale in most cases. Three of the eight farms (38%) are currently mixed crop-livestock systems.

Type 4 (6 farms) showed substantial enlargement in UAA and herd size, despite the farms being the biggest in 1950. Investments were high in each decade in five of the six farms. Irrigation and drainage were implemented in all farms in 1970-1980. Technological innovations to feed the cows were not adopted as land availability was sufficient for extensification through a grassland-based production. Half of farms have been specialised in cattle production since 1970, and half continued beef production and cash crop production until 2000, as the number of AWU was sufficient for the work on an enlarged farm. After 2000, some farmers had to specialise their farm for cash crop production because of an expected reduction of AWU. Two of the six farms (33%) are currently mixed crop-livestock systems.

Type 5 (18 farms) was marked by a nuclear family model since 1975: only one generation was working and making decisions on the farm. The UAA was increased by tenant farming; the farms gradually adapted size and orientations to the available workforce, through progressive investment. Specialisation and technological innovations were limited: neither irrigation nor drainage were implemented and maize silage was rare. Crop-livestock systems were maintained, combining beef cattle production and cash crop production until 1990. The working collective organisation differentiated two subtypes.

Subtype 5_1 (10 farms): although the AWU decreased from 2.0 to 1.2 over the whole trajectory, labour was available throughout the period. This allowed the survival of mixed crop-livestock systems. There was substantial enlargement between 1970 and 1990, through land tenancy. The PU decreased to 1.5. Four of the 10 subtype 5_1 farms (40%) are currently mixed crop-livestock systems.

Subtype 5_2 (8 farms): The absence of family labour was a limiting factor; AWU decreased over the period from 1.6 to 0.5, when the last generation of farmers took an off-farm job. The absence of a successor limited innovation since 1970. Since 1990, the workforce shortage led to specialisation: practices were simplified and PU was limited to the production of cash crops. All farms were in the process of collapsing at the time of the study.

Drivers of change: The major driving forces involved in the survival of mixed crop-livestock farming are associated with the general socio-economic context (Table 4). According to local farmers and advisers, the changes observed can be partly explained by large effects of the CAP and the globalisation of markets. 1970 marked the beginning of the general process of specialisation and modernisation of local agriculture under their influence. Farmers were financially encouraged to increase production and to choose a specific market sector through specialisation. The local commercial context influenced production orientations. The demand for weanlings from the Italian market and the implementation of subsidies from the CAP since 1975 encouraged farmers to specialise in beef cattle production. Small livestock production declined, and specialised meat or dairy cattle breeds replaced the local breed to produce more appropriate weanlings for the Italian market, and to increase milk production, respectively.

Most local farmers tried to employ family members. The presence of a successor strongly influenced farm trajectories. For instance, subtype 5_2 farmers had no likely successor, leading to the collapse of the farm. Farmers reported that the absence of workforce contributed to the abandonment of production units. Both farmers and advisers stated that major labour shortage during two periods (1970s and 1990s) resulted in some farms being taken over by other, now larger, farms. They suggested that the survival of mixed crop-livestock farming on the area was partly linked to the local stem family model, in which keeping crop and livestock productions on the farm was a tradition. Nevertheless, local farms experienced major changes to these social structures and, in recent decades, were confronted with the absence of a successor.

Table 4: Major drivers of change involved in the survival of mixed crop-livestock systems (MCLS).

| Group of factors | General economic and political environment | | | | Farm structure | Regional location |
|---------------------------------|--|--|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| | Market globalisation | European CAP orientations | | | | |
| Drivers of change involved | Low agricultural prices | Fluctuations of input and product prices | Production-based subsidies | Environmental subsidies of 2nd pillar | Decrease in available workforce | Tradition linked with MCLS |
| Impacts on the survival of MCLS | - | + | - | + | - | + |

The diversity of farm trajectories observed is partly related to differences between farm structures in 1950. As farmers explained, they observed significant differences between farm soil-climatic conditions. Some farms had parcels with a higher potential for modernisation than others, which had more hillsides than plains in their UAA. The farm structure contributed to the evolution of the orientations of the farms all along their trajectories.

Evaluation of result reliability: During the 12 interviews, 10 farmers confirmed our interpretation of their farm type. The two other farmers did not know where to classify their farm in our typology. After detailed observation of the data describing the evolution of each

type, which helped us to improve our interpretation, these farmers agreed with our classification of their farm. Among the 10 farmers present at the collective meeting, five had not previously been interviewed. All the farmers agreed with the final typology of farm trajectories we presented.

Discussion

The “paths to last” in mixed crop-livestock farming

We describe various “paths to last” that are diversely favourable to specialisation and to the survival of mixed crop-livestock systems. The farm trajectories were classified into five types, four of which allowed the survival of mixed crop-livestock systems. Type 1 was characterized by the maximisation of autonomy through combining crops and livestock. Type 3 involved the diversification of production on small farms to secure income against market fluctuations. These two types of “paths to last” correspond to economies of scope as described by Vermersch (2007). The combined agricultural productions in mixed crop-livestock systems allowed cost saving. Type 4 exploited farm enlargement for economies of scale, and was associated with the availability of labour to work an enlarged farm. A lack of workforce led to a simplification of practices and to the choice of a production orientation, either livestock or cash crops. Type 5 was characterised by progressive adaptation of the farm to a familial workforce for mixed crop-livestock production. This “path to last” involved adjustment of the labour on the farm, but could nevertheless lead to collapse or specialisation, either in livestock or crops, when the workforce is lacking (as observed in subtype 5_2). The diversity observed among these enduring trajectories for mixed crop-livestock farming could partly explained the diversity in current mixed crop-livestock systems and practices, as observed previously (Choisis *et al.*, 2012; Ryschawy *et al.*, 2012). Only type 2 did not lead to any mixed crop-livestock systems: these trajectories were involved enlargement to increase dairy production through economies of scale. This led to specialisation, whereas mixed crop-livestock systems are based on economies of scope (Vermersch, 2007).

The drivers of change and farmers decision-making process

The three groups of factors distinguished by Veysset *et al.* (2005) appear to influence strongly the evolution of mixed crop-livestock farming in our study area (Table 4). First, the general economic and political environment favoured the specialisation process, and in particular the low prices of agricultural products due to market globalisation and the output-based subsidies of the European CAP (Chatellier and Guyomard, 2008). Type 2 illustrates this evolution: a single production orientation facilitating the intensification of the system. Nevertheless, fluctuations of input and product prices may favour the survival of mixed crop-livestock systems giving them an economic advantage (Ryschawy *et al.*, 2012). In addition, the political incentives of the second pillar of the CAP has helped farmers to keep permanent grassland through extensification payments (Veysset *et al.*, 2005).

The farm structure was identified as a second group of factors. The farm size and configuration in 1950 seem to have contributed to the evolution. Nevertheless, farmers' choices are not strongly conditioned by this driver of change. For instance, some type 1 farmers decided to favour mixed crop-livestock systems despite a farm structure that would have allowed specialisation. In contrast, some type 2 farmers had a farm structure in 1950 which was not optimal for intensification but nevertheless consistently modernised. The availability of workforce became a major driver of change after 1970. Processes of succession are known to be determinants of critical transitions in farm trajectories (Potter and Lobley, 1996).

The regional location, determining commercial and soil-climatic context, was identified as a third group of drivers of change. The local market especially promoted the production of weanlings. The relative stability of the local production orientations and an autonomous mixed crop-livestock system seem to be tightly linked to a farm functioning based on cultural values prevailing in rural societies organised as stem households with a single heir. This system persists in the region (Sourdriil, 2006).

Only two types of trajectory appear likely to persist, independent of the changes in the context: maximisation of autonomy (type 1) and diversification (Type 3) may maintain mixed crop-livestock systems in Europe in the future. Since 2000, the increasing prices of inputs has validated these two "paths to last" in mixed crop-livestock farming. Most of the drivers of

change identified cannot be influenced, *e.g.* the globalisation of the market or the availability of workforce. Political incentives are nevertheless essential levers to help farmers to maintain mixed crop-livestock systems. Subsidies based on diversification of production or autonomy through interactions between crop and livestock could be tested. The survival of systems favourable to environmental sustainability could justify such political orientations at the regional or European level.

Comparison with other studies

Lemery *et al.* (2005) described “paths to last” in Burgundy. Under a pattern of change called “act upon”, Lemery *et al.* (2005) identified two paths: “Technical efficiency by optimization and investment in the collective” and “get bigger” correspond to our Type 2 and Type 4, respectively. Under a second pattern called “go with”, Lemery *et al.* (2005) identified two paths: “keep autonomy” and “diversify with other important activities” correspond to our Type 1 and Type 5_1, respectively. For this second group, diversification involves agricultural productions (maintaining mixed crop-livestock systems) or non-agricultural orientations (off-farm jobs). Our type 3 was not identified in their study because of its local specificity.

Garcia-Martinez *et al.* (2008) also found similar types of trajectories between 1990 and 2004 in Spanish Pyrenean farming systems. A pattern of evolution qualified as “structural equilibrium” corresponds to our Types 1 and 3; this showed relative stability of farm structure over the period 1990-2004. The pattern of evolution “large structural growth” corresponds to our Types 2 and 4, with large increases in land and herd size since 1990. Type 5_1 had no equivalence in their study.

Rueff *et al.* (2012) analysed farm trajectories in the French Pyrenees, where the stem household organisation persists. They identified a ‘patrimonial’ type of trajectory corresponding to our Type 3. Their type ‘retreat’ corresponds to our type 5_2. In our area, the ‘niche’ strategy was not found as there are fewer opportunities for tourism.

The difficulty of assessing long-term change on farms

The time lag and recall: We chose to study farm trajectories after 1950 for both scientific and methodological reasons. Modernisation of farms in Europe started in 1950. Their trajectories changed at this time (Antrop, 2005). Fifty years is the limit of human memory for retrospective collection of data (Cialdella *et al.*, 2009); the data is often limited by the accuracy of the information provided during surveys. For example, farmers remember the presence or absence of maize production in a past decade, but not of the area of maize cultivated.

During retrospective interviews, farmers may give a reconstructed view of the past rather than the perception they had at the time the decision was made (Lamine and Bellon, 2008); even if trying to be objective. Experience changes their interpretation of facts (Cialdella *et al.*, 2009).

Added-value of a combination of methods: In our study, we emphasised the interpretation of the data supplied by the farmers, with unavoidable subjectivity. Nevertheless, computer-processing methods limit this subjectivity (Mulaik, 1993); the statistical analysis was chosen on the basis of both conceptual and empirical considerations.

Discussions with farmers enabled us to improve our interpretation and to confirm the trends we identified. This study illustrates the value of participatory research with farmers and other local actors (Gibon *et al.*, 1999b). Farmers contributed considerably to improving the study by providing access to their local knowledge. Indeed working with local actors appears to be particularly beneficial for both researchers and stakeholders. It allows the understanding of changes in farming systems to be better understood (ComMod, 2005). It also promotes discussion on driving forces in the past, favouring an objective and external representation that could be of importance in the future.

Conclusion

We report findings of topical interest on trajectories that have allowed the survival of mixed crop-livestock farming in upland conditions. Over the long term, some paths were compatible with mixed crop-livestock systems and others led to specialised farming systems. Within the five identified types of trajectories, four were compatible with maintaining mixed crop-livestock systems. The first maximised autonomy through the combination of crops with livestock. The second relied on diversification to benefit from economies of scope and secure the farm against market fluctuations. The two others were based on enlargement and progressive adaptation of the farm to the familial workforce; the survival of mixed crop-livestock in these two types is highly dependent on workforce availability. Only one type of trajectory, based on enlargement and economies of scale, did not lead to any mixed crop-livestock systems.

The socio-economic context favoured specialisation through incentives from the European CAP, market globalisation and the decreasing availability of labour. The two latter drivers of change are not easily modified by policy. However, political incentives favouring on-farm interactions between crop and livestock could contribute to the maintenance of mixed crop-livestock systems. In view of the current evolution of the driving forces, maximising autonomy and diversification appear to be suitable paths to deal with current challenges and maintain mixed crop-livestock systems in Europe.

Acknowledgments

This study was funded by the Agriculture and Sustainable Development programme (ADD), project 'MOUVE', and the Midi-Pyrenees Region, under the INRA-Region research programme 'CHAPAY'. We thank the local actors of the French Coteaux de Gascogne, for contributing to this study.

References

- Agreste 2010. *Agreste- Rapports Publics - RICA Réseau d'Information Comptable Agricole - Tableau standard RICA 2002-2008.*
- Antrop M 2005. *Why landscapes of the past are important for the future? Landscape and Urban Planning* 70(1), 21-34.
- Chatellier V and Guyomard H 2008. *Le bilan de santé de la PAC, le découplage et l'élevage en zones difficiles. INRA Sciences Sociales Recherches en Economie et Sociologie Rurales* (6), 1-8.
- Choisis JP, Sourdril A, Deconchat M, Balent G and Gibon A 2010. *Understanding regional dynamics of mixed crop-livestock agricultural systems to support rural development in South-western France uplands. Cahiers Agriculture* 19(2), 97-103
- Choisis JP, Thévenet C and Gibon A 2012. *Analyzing farming systems diversity: a case study in south-western France. Span J Agric Res* 10(3)
- Cialdella N, Dobremez L and Madelrieux S 2009. *Livestock farming systems in urban mountain regions. Differentiated paths to remain in time. Outlook on Agriculture* 38, 127-135.
- ComMod 2005. *La modélisation comme outil d'accompagnement. Natures Sciences Sociétés* 13, 165-168.
- Dedieu B 2009. *Qualification of the adaptative capacities of livestock farming systems. Revista Brasileira de Zootecnia* 38, 397-404.
- Dolédec and Chessel 1987. *Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. I- Description d'un plan d'observations complet par projection de variables. Acta Oecologica, Oecologia Generalis* 8(3), 403-426.
- EC (European Commission). 1999. *Specialised holdings and more intensive practices. Available at:*
ec.europa.eu/agriculture/envir/report/en/expl_en/report.htm Accessed April 2012.
- FAO 1995. *Digital Soil Map of the World and Derived Soil Properties. Land and Water Digital Media Series 7, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.*
- Garcia-Martinez A, Olaizola A and Bernués A 2008. *Trajectories of evolution and drivers of change in European mountain cattle farming systems. Animal* 3, 152-165.

- Gibon A, Balent G, Olaizola A and Di Pietro F 1999a. *Approche des variations communales des dynamiques rurales au moyen d'une typologie: cas du versant nord des Pyrénées Centrales. Options Méditerranéennes* 27(B),15-34.
- Gibon A, Sibbald AR, Flamant JC, Lhoste P, Revilla R, Rubino R and Sorensen JT 1999b. *Livestock farming systems research in Europe and its potential contribution for managing towards sustainability in livestock farming. Livestock Production Science* 61, 121-137.
- Hill MO and Smith AJE 1976. *Principal component analysis of taxonomic data with multi-state discrete characters. Taxon*, 25, 249-255.
- Lamine C and Bellon S 2008. *Conversion to organic farming: a multidimensional research object at the crossroads of agricultural and social sciences. A review. Agronomy for Sustainable Development* 29(1), 97-112.
- Lemery B, Ingrand S, Dedieu B 2005. *agir en situation d'incertitude : le cas des éleveurs bovins allaitants. Economie Rurale*, 288, 57-69.
- Mazoyer M and Roudart L 2006. *A history of world agriculture from the neolithic age to the current crisis. Earthscan, New York. 528 pp.*
- Mottet A, Ladet S, Coqué N and Gibon A 2006. *Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees. Agriculture, Ecosystems & Environment* 114, 296-310.
- Moulin CH, Ingrand S, Lasseur J, Madelrieux S, Napoléone M, Pluvinage J and Thénard V 2008. *Comprendre et analyser les changements d'organisation et de conduite de l'élevage dans un ensemble d'exploitations : propositions méthodologiques. In Dedieu B, Chia E, Leclerc B and Moulin CH (eds) L'élevage en mouvement : flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores Editions Quae, Paris, France. pp. 181-196.*
- Mulaik SA 1993. *Objectivity and Multivariate Statistics. Multivariate Behavioral Research* 28(2), 171-203
- Poux X 2004. *Une analyse environnementale des accords de Luxembourg : une nécessaire réforme de la réforme Le Courrier de l'environnement de l'INRA* 51, 18 pp.
- Potter C and Lobley M 1996. *The farm family life cycle, succession paths and environmental change in Britain's countryside. Journal of Agricultural Economics* 47, 172-190.
- R Development Core Team, 2011. *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.*

- Rueff C, Choisis JP, Balent G and Gibon A 2012. *A preliminary assessment of the local diversity of family farms change trajectories since 1950 in a Pyrenees mountains area. Journal of Sustainable Agriculture* 36 (5), 564-590.
- Russelle MP, Entz MH and Franzluebbbers AJ 2007. *Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. Agronomy Journal* 99, 325-334.
- Ryschawy J, Choisis N, Choisis JP, Joannon A and Gibon A 2012. *Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming?. Animal, Available on CJO 2012 doi:10.1017/S1751731112000675*
- Séré C and Steinfeld H 1996. *World livestock production systems: Current status. Issues and trends. FAO Animal Production and Health Paper 127, Rome.*
- Sourdril A, Du Bus de Warnhaffe G, Deconchat M, Garine E and Balent G 2006. *From farm forestry to farm and forestry in South-Western France as a result of changes in a 'house-centred' social structure, Small-scale forest, economics, management, and policy* 5(1), 127-144.
- Vermersch D, 2007 *L'éthique en friche. Editions QUAE INRA, collection update sciences and technologies 2007, Paris. 117pp.*
- Veysset P, Bebin D and Lherm M 2005. *Adaptation to Agenda 2000 (CAP reform) and optimisation of the farming system of French suckler cattle farms in the Charolais area: a model-based study. Agricultural Systems* 83, 179-202.
- Wilkins RJ 2008. *Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 363, 517-52

Article 4: Evaluation participative de scénarios innovants pour renforcer la durabilité d'exploitations de polyculture-élevage

Ryschawy J^a, Joannon A^b, Choisis JP^a, Gibon A^a et Le Gal PY^c.

^a INRA, UMR 1201 Dynafor, INPT/ENSAT, F-31326 Castanet-Tolosan.

^b INRA, UR 0980 SAD Paysage, F-35042 Rennes

^c CIRAD, UMR Innovation, F-34000 Montpellier.

Corresponding author: Julie RYSCHAWY. E-mail: julie.ryschawy@toulouse.inra.fr

Mots-clés : accompagnement, prospective, simulation, France

Introduction

La polyculture-élevage fait l'objet d'un regain d'intérêt mondial dans le cadre du Développement Durable de l'agriculture (Hendrickson et al., 2008a ; Herrero et al., 2010. Schiere et Kater, 2001). Les systèmes de polyculture-élevage, qui allient grandes cultures et élevage à l'échelle de l'exploitation, sont dits éco-efficents pour leurs avantages économiques et environnementaux (Ryschawy et al., 2012a, Wilkins, 2008). Les complémentarités fortes entre élevage et cultures via notamment le cycle des nutriments limiteraient les externalités négatives environnementales (Hendrickson et al., 2008b ; Schiere et al., 2002) tout en permettant une agriculture productive et économiquement viable . Si les exploitations de polyculture-élevage jouent un rôle majeur dans l'agriculture des pays en développement (Herrero et al., 2010),, elles ont été largement menacées en Europe par le développement agricole passé incitant à la spécialisation (Charroin et Ferrand, 2010; Ryschawy et al., 2012a ; Wilkins, 2008). Le développement agricole européen a en effet incité à la spécialisation de la production agricole. Ceci a été accentué par les incitations de *la Politique Agricole Commune* et les fluctuations des marchés *des intrants et produits agricoles*. Le manque de main d'œuvre agricole a aussi contribué à la marginalisation des exploitations

de polyculture-élevage, la gestion conjointe de deux ateliers demandant un travail important (Hendrickson et al., 2008b)

Pour enrayer ce déclin, *nous considérons que* des adaptations locales des exploitations de polyculture-élevage peuvent être *pertinentes*. Ceci constitue avec un levier d'action important pour favoriser un maintien de la polyculture-élevage (Meynard, 2012). *Nous nous sommes donc demandé* quelles innovations techniques seraient à même de favoriser le maintien d'exploitations de polyculture-élevage. *Pour éclairer cette question, nous faisons l'hypothèse qu'une recherche participative avec les acteurs locaux est une voie privilégiée pour contribuer à la réflexion d'innovations qui puissent être adoptées par les agriculteurs (Martin et al., 2011a)*. Une démarche de prospective en partenariat a donc été conduite avec un groupe d'acteurs locaux composé d'agriculteurs, de leur conseiller et de maires de municipalités locales. *Ce travail a été conduit dans les Coteaux de Gascogne, une situation de zone défavorisée européenne, où un maintien des systèmes de polyculture-élevage est observé.*

Après avoir précisé notre démarche de prospective en *partenariat, nous proposerons des innovations techniques favorables à un maintien d'exploitations de polyculture-élevage en zones défavorisées européennes*. Nous préciserons ensuite les effets de leur mise en œuvre sur les performances de deux exploitations réelles, que nous avons évalués par simulation informatique. Nous présenterons enfin l'analyse de la sensibilité des innovations testées à des hypothèses de changement des *marchés et des politiques publiques* à l'horizon de 20-30 ans. Nous discuterons enfin nos résultats sur la base de la bibliographie internationale, de l'évaluation collective des résultats obtenus en simulations *individuelles*.

1. Matériel et méthodes

1.1. Contexte de l'étude et region étudiée

Les « Coteaux de Gascogne » sont classés en zone défavorisée simple. Dans cette région, la spécialisation des exploitations a été limitée. La classification mondiale agro-écologique (FAO, 1995) classe la région en zone tempéré avec de fréquentes sécheresses estivales et des précipitations moyennes de 40 mm par mois. La somme des précipitations annuelles est faible (70 mm par an) et variable au long de l'année avec un pic au printemps (75-70 mm par mois). En lien avec ces conditions climatiques, des sols peu productifs et une tradition culturelle

locale, les exploitations de polyculture-élevage alliant bovins allaitants et grandes cultures se sont maintenues dans cette région (50 % des exploitations actuelles). 61% de la Surface Agricole Utile locale est composée de prairies permanentes non mécanisables et de prairies temporaires (Agreste, 2010 ; Choisis et al., 2010). Au sein des terres arables, 26,5% des terres arables sont dédiées à la production de blé et de maïs ensilage pour nourrir les troupeaux bovins (Agreste, 2010); pour la vente, du soja, du colza et du tournesol sont produits.

1.2. Démarche générale

Notre démarche s'inscrit dans le champ des méthodes qualifiées « d'exploratoires » (Börjeson et al., 2006). Comme l'ont souligné van Notten et al. (2003), une démarche de prospective ne se résume pas aux scénarios explorés mais constitue une approche méthodologique plus large, intégrant la conception de la démarche et la conceptualisation du problème. Aussi présenterons-nous notre démarche en trois étapes (Figure 1) :

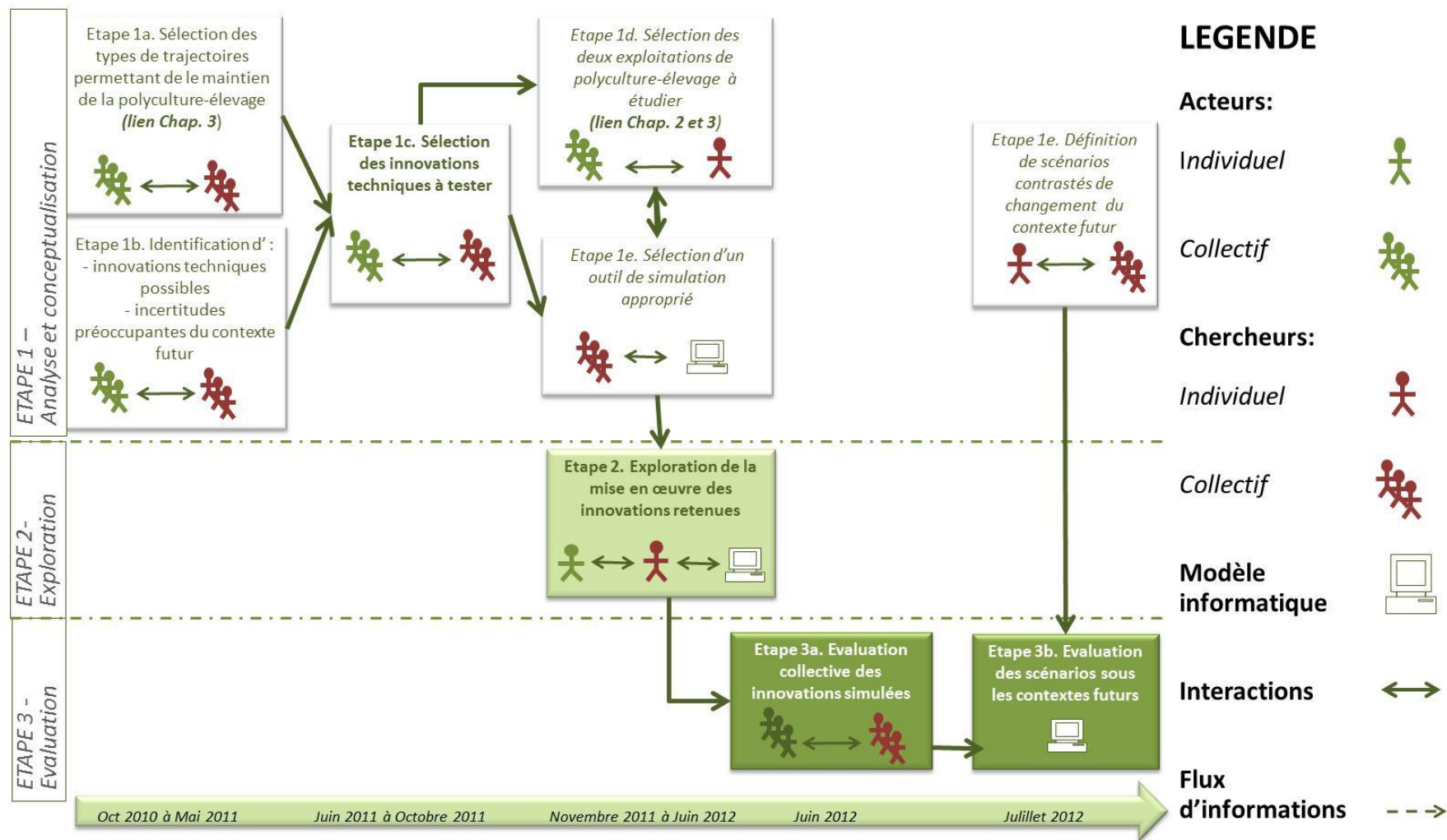


Figure 1 : Déroulement de la démarche de prospective (présentation inspirée de Martin et al., 2011b)

1.2.1. Identifier collectivement des innovations techniques favorables au maintien de la polyculture-élevage (Étapes 1a-c)

Partant de l'hypothèse de continuité de (Moulin et al., 2008), nous considérons que les changements futurs des systèmes techniques de production vont se faire dans la continuité des stratégies adaptatives ayant permis le maintien de la polyculture-élevage (Ryschawy et al., 2012b). A participatory study involving local stakeholders is underway to investigate the future of agricultural systems in the study area, which includes four neighbouring villages (Choisis et al., 2010). La démarche a été initiée en 2008 avec un groupe local de recherche en partenariat, composé de 12 agriculteurs, leur conseiller agricole et quatre chercheurs.

Dans l'étape 1, quatre réunions collectives ont été conduites pour cibler collectivement les innovations possibles en lien avec chacune de ces deux stratégies adaptatives. Le groupe local de recherche en partenariat s'est réuni une première fois pour exprimer ses préoccupations par rapport à l'avenir et cibler des innovations qui permettraient de favoriser le maintien de la polyculture-élevage (Étape 1.b). Chaque agriculteur et conseiller ont proposé cinq préoccupations par rapport à l'avenir de leur exploitation. Ces idées ont été réorganisées par thème sous la forme d'un métaplan, outil d'animation permettant la construction collaborative de visions partagées pour faciliter la prise de décision collective (Kelemen et al., 2012). L'organisation du méta-plan a permis de cibler les préoccupations majeures des partenaires. Une seconde réunion collective (Étape 1.c) a permis de retenir une innovation à évaluer par type de stratégies adaptatives.

Le premier type de trajectoires retenu, appelée « Autonomie » consiste en la maximisation de l'autonomie par la coordination forte entre cultures et élevage au sein de l'exploitation. ». Dans la trajectoire « Autonomie », l'innovation retenue est la mise en œuvre d'intercultures fourragères pour i) limiter l'achat de concentrés azotés pour le troupeau et ii) limiter l'appauvrissement des sols en azote et matière organique causé par des rotations peu variées de type blé-tournesol-orge classiquement. La seconde, appelée « Diversification », repose sur une diversification des ateliers de production pour bénéficier d'économies de gamme et se sécuriser par rapport aux fluctuations du marché des intrants mais aussi des produits agricoles. Dans le chemin « Diversification », la mise en œuvre d'un atelier de

finition permettrait aux agriculteurs i) de s'ouvrir des débouchés en circuit court avec une viande mieux rémunérée que sur le marché du maigre italien et ii) une meilleure reconnaissance de la qualité de leur travail par les consommateurs.

1.2.2. Sélectionner un outil de simulation (Etape 1.e)

Une fois les innovations techniques précisées, nous avons souhaité simuler leur mise en œuvre chez un agriculteur volontaire par innovation. Pour cela, nous avons choisi l'exploration par simulation informatique pour stimuler les discussions, à l'instar d'autres études prospectives en partenariat (Carberry et al., 2002, Martin et al., 2011a, Romera et al., 2004). Pour conduire les simulations, nous avons adapté le modèle CLIFS (Crop-Livestock Farm Simulator) (Le Gal et al., 2011). CLIFS permet de concevoir avec le producteur différentes configurations futures de son système de production en fonction de ses projets,. Il a été utilisé jusqu'ici comme support d'accompagnement pour des agriculteurs en polyculture-élevage en zone tropicale (Brésil, Madagascar, Pérou).

CLIFS fonctionne sur le principe de calculs de bilans annuels offre-demande en ressources, sur la base d'une définition mensualisée de la demande en alimentation animale, en fertilisation et en main d'œuvre respectivement mise en correspondance avec l'offre sur l'exploitation en productions fourragères et cultures, fertilisation disponible et main d'œuvre (Figure 2).

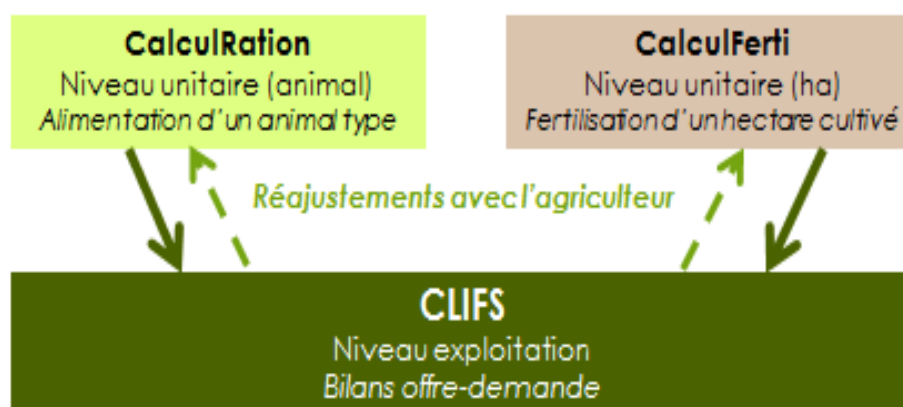


Figure 2 : Représentation du fonctionnement de CLIFS

Les bilans sont axés sur le fonctionnement technique du système de production et en particulier sur deux leviers d'interactions fondamentaux entre élevage et cultures au sein du système de polyculture-élevage: alimentation et fertilisation organique (Le Gal et al., 2011). Ils sont équilibrés par l'achat ou la vente des ressources respectivement déficitaires ou excédentaires, ces transactions impactant ensuite le revenu dégagé par l'activité agricole. Le paramétrage de l'alimentation a été fait sur la base des tables d'alimentation INRA (INRA, 2007). Le tableau 1 détaille les variables d'entrée et de sorties du modèle CLIFS au niveau technique, il précise aussi les paramètres mobilisés.

Tableau 1 : Bilan des variables d'entrées et de sorties et des paramètres de CLIFS

| Variables d'entrées | Variables de sortie | Paramètres |
|--|--|--|
| Cultures Cultures assolées pour chaque situation culturelle Surface Rendement moyen de la sole (t/ha) Quantité de la récolte vendue (en t) Utilisation pour l'alimentation du troupeau (en t) % paille exportée Quantité de fertilisation minérale (t/ha) Quantité de fertilisation organique(**) Quantité semence (t/ha) Quantité de phytosanitaires (t/ha) | Productions <i>végétales vendues</i> (t par type de culture) Productions végétales achetées pour le troupeau (t par type de culture) Consommations intermédiaires (fertilisants, phytosanitaires, semences) (t par type d'intrant) | Composition des fertilisants, des produits phytosanitaires |
| Cultures fourragères pour chaque culture fourragère Espèce Rendement (en t de MB/ha) Stockage (O/N) Mois de récolte pour le stockage Niveau du stock (en t de MB) | Bilan fourrager par type de fourrage (t/mois et t/an) | |

| | | |
|---|---|---|
| <p>Elevage Pour chaque catégorie d'animal (vaches allaitantes, veaux <7 mois, génisses de renouvellement, broutards, vaches de réformes) Nombre d'animaux Poids vif moyen par vache allaitante Intervalle vêlage-vêlage (*) Poids veau naissance (*) Durée de lactation (*) Quantité de lait bue/veau/mois Age des veaux au sevrage Age des veaux à l'entrée dans le troupeau de renouvellement Nombre d'animaux engraisés Date début Date fin Poids initial (*) Poids à la vente ou sortie (*) Rations des animaux (*) Temps passé en bâtiment Type de fumure produite/lot</p> <p>Achats/production aliments Type d'aliments non-produits sur l'exploitation (Fourrages/concentrés) Composition des mélanges fabriqués (en % par ingrédient) (*)</p> <p>Achats/production fumure Fumures organiques produites (**) Type déjection (**) % fèces (**) Type paille (**) % paille (**)</p> | <p>Production de viande (kg vifs par type de catégorie)</p> <p>Bilan des consommations intermédiaires (t par type de produit)</p> <p>Quantité d'aliment acheté (t)</p> <p>Bilan fumure organique sur l'exploitation (t)</p> <p>Bilan en paille sur l'exploitation (t)</p> | <p>Composition et valeurs alimentaires des aliments (INRA Tables alimentaires, 2007)</p> <p>Besoins alimentaires journaliers par type d'aliments et type d'animaux</p> <p>Composition des concentrés commerciaux (INRA Tables alimentaires, 2007)</p> <p>Déjection produite par UGB par catégorie</p> |
|---|---|---|

(*) Variables issues de CalculRation / (**) Variables issues de CalculFerti

Nous avons co-paramétré la mise en œuvre de l'innovation prospective retenue avec chacun des deux agriculteurs retenus: les simulations ont été paramétrées et évaluées avec l'agriculteur en partant de ses objectifs. Pour chaque innovation prospective retenue, l'expertise d'organismes régionaux partenaires nous a aidée à paramétrer les scénarios (Institut de l'élevage et chambre d'agriculture de Midi-Pyrénées). A partir des simulations techniques obtenues, CLIFS permet ensuite de calculer un bilan économique détaillé allant jusqu'à la marge brute globale de l'exploitation (MBG). Pour cela, nous ventilons les produits et charges de l'atelier cultures et de l'atelier élevage selon des paramètres de prix de chacune des variables considérées en sortie (Tableau 1) à partir des valeurs des statistiques nationales (Agreste, 2010). Nous considérons aussi les aides PAC perçues annuellement sur l'exploitation.

1.2.3. Etape 3 : Tester la robustesse des scénarios selon des changements de contexte (Etape 3a)

L'analyse du métaplan a révélé que les incertitudes majeures des partenaires par rapport au contexte futur portaient sur l'évolution des politiques agricoles et des marchés. Nous avons donc évalué les résultats de simulation selon de nouvelles hypothèses de prix (intrants et outputs) et de primes PAC pour tester la robustesse des innovations techniques retenues par rapport au contexte futur. Pour définir des contextes contrastés de l'environnement politique et économique, nous nous sommes basés sur des travaux de prospective publiés (Agrimonde, 2010, FAO, 2012) et des avis d'experts. Comme le montre le tableau 2, nous avons retenu un contexte futur témoin dit « Tendanciel », qui correspond au prolongement tendanciel des politiques et marchés actuels. Nous avons ensuite retenu deux scénarios principaux dans lesquels les prix des céréales et des fertilisants augmenteront nettement, comme annoncé dans les prospectives internationales. En revanche, l'établissement du prix de la viande ainsi que la prise en compte des questions environnementales y seront très contrastés. Dans un contexte futur mondialisé dit « Globalisation », le prix de la viande restera mondialisé comme dans le scénario témoin ; l'environnement sera considéré de manière pénalisante pour la production bovine, via l'établissement d'une taxe gaz à effet de serre par kilogramme de viande produite.

Dans un contexte futur contrasté dit « Glocalisation » qui considérerait la reterritorialisation de la production, le prix de la viande correspondrait à un prix circuit court, la PAC pourrait intégrer des primes surfaciques pour la mise en place de prairies temporaires ou d'intercultures.

Tableau 2: Quantification des deux scénarios de changement du contexte

| Types d'incertitudes | Contexte actuel | « Globalisation » | « Glocalisation » |
|--|--|-----------------------------------|---------------------------|
| Prix de la viande bovine | 2,20 €/ kg vif | 2,20 €/ kg vif | 5,1 €/kg vif |
| Prix des céréales | 132 €/t | 211 €/t | 211 €/t |
| Prix des fertilisants | 303 €/t | 198 €/t | 198 €/t |
| Type et niveau des subventions environnementales | Primes actuelles du 2 nd pilier de la PAC | Taxe GES/ carbone : 0,38 €/kg vif | Prime PAC: 130 €/ha PT/IC |

GES: Gaz à Effet de Serre; PT: Prairies temporaires; IC : Intercultures

Une analyse de sensibilité des innovations prospectives sous ces deux scénarios de changement de contexte politico-économique a été conduite. Les indicateurs MBG et NS ont été recalculés en relançant les simulations avec les paramètres de chacun de ces scénarios.

1.2.4. Evaluation des scénarios et de la démarche (Etape 3b)

Une réunion collective a été organisée avec le groupe de partenaires pour présenter les résultats de simulation et les évaluer collectivement. Pour évaluer les résultats, nous considérons enfin un indicateur économique global, la Marge Brute Globale (MBG), et un

indicateur environnemental le surplus annuel d'azote (NS). Ces deux indicateurs sont reconnus pour discriminer les niveaux de durabilité d'exploitations de polyculture-élevage bovins allaitants-grandes cultures (Ryschawy et al., 2012a). Le pourcentage de la MBG en élevage a permis d'évaluer si les scénarios déséquilibraient la MBG vers l'élevage ou les cultures ; les agriculteurs locaux souhaitant conserver un équilibre. Une analyse basée sur la méthode « bilan travail en élevage » (Dedieu et Serviere, 1997) a permis d'analyser la faisabilité de chaque scénario au plan de l'organisation du travail. Les agriculteurs ont pu évaluer, sur la base de ces résultats de simulation la pertinence éventuelle des innovations prospectives retenues.

2. Résultats

2.1. Des intercultures fourragères pour durer dans le type « Autonomie »

Le cas réel retenu est une exploitation en régime de croisière gérée par 1 UTA : GSB, 50 ans. Les 133 ha de SAU sont composés à 50% de prairies (44 ha temporaires ; 22 ha permanentes), et 50% de cultures (43 ha de blé, 8 ha d'orge et 15 ha de tournesol). Le troupeau comporte 43 vaches allaitantes de race Limousine soit un chargement de 0,8 UGB/ha. Le taux de renouvellement du troupeau est de 25%. Les brouards sont repoussés à 380 kg ; les vaches de réformes sont finies et vendues à 750 kg. Pour l'alimentation du troupeau, 8,9 t de concentré azoté sont achetées par an (3118 €/an). Le paramétrage de cette exploitation dans CLIFS nous servira de scénario témoin (S0) pour simuler les scénarios innovants (Tableau 3)

Tableau 3 : Résultats du paramétrage de l'exploitation de GSB

| | Données réelles de l'exploitation (2012) | Scénario paramétré S0 Reproduction d'exploitation |
|-------------------------|--|--|
| Bilan fourrager – foin | 0 t | 1,78 t |
| Bilan mensuel | Positif | Positif |
| Reconstitution du stock | Oui – 3 mois au moins | Oui – 107 t (4 mois) |
| Bilan fumure organique | 0 t | 0 t |
| Offre fumure organique | Fertilisation de 10 ha/an orge | 101 t (pouvoir : 10 ha/an orge) |
| Bilan en paille | 85 balles de 350 kg soit 29,7 t | 30 t |

GSB recherche deux types d'intercultures jouant le rôle de cultures fourragères dérobées : une « courte » avec implantation rapide entre deux cultures d'hiver ; une « longue » pouvant être enfouie avant une culture d'été. Pour limiter les intrants azotés pour le troupeau tout en apportant de l'azote au sol, les légumineuses sont apparues incontournables. Des recherches bibliographiques et des échanges avec des experts scientifiques nous ont permis de préciser les scénarios puis de les paramétrer.

En interculture courte, le trèfle violet est retenu pour son pouvoir couvrant, son faible coût et les expériences d'agriculteurs locaux l'ayant mis en œuvre. GSB souhaiterait enrubanner ce trèfle violet pour avoir des stocks disponibles. En interculture longue, un méteil avoine-vesce répondrait aux enjeux et la vesce a été testée depuis 5 ans sur la station expérimentale de l'INRA d'Auzeville. GSB a de plus une connaissance et un intérêt pour ce type de mélange qui peut être pâturé par le troupeau ou enfoui si l'autonomie alimentaire est déjà atteinte. GSB a ensuite eu l'idée de laisser un trèfle violet bien implanté une année supplémentaire pour i) avoir plus de stock alimentaire sans surcharge de travail et ii) bénéficier d'une prime PAC de 314 €/ha pour le gel annuel de ce trèfle. La contrainte majeure était l'interdiction de faucher le gel entre le 1^{er} mai et le 15 juillet en Midi-Pyrénées.

Le scénario 1 est basé sur l'introduction d'une interculture courte de type trèfle violet stocké en ensilage et d'une interculture longue, de type méteil avoine-vesce pâturé et le surplus enfoui. Le scénario 2 ajoute la possibilité de geler le trèfle violet l'année suivante.

Les résultats de simulation sont détaillés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Résultats des simulations sur l'exploitation de type « Autonomie »

| Indicateurs | MBG/ha | Bilan N | % MBG élevage | Achat concentrés |
|--|------------------------|------------------|---------------|-----------------------------|
| S0 Situation initiale | 683 €/ha | + 6,2 kgN/ha | 73 % | 8,9 t /an soit 3118 €/an |
| S1 : Stockage Trèfle Enfouissement av-vesce | 704 €/ha (+21 €/ha) | - 0,3 kgN/ha | 80 % | 0 t |
| S2 : Idem S1 + Gel du trèfle violet | 744 €/ha (+61 €/ha) | + 2,74 kgN/ha | 70 % | 0 t |

Par rapport au scénario témoin S0, le scénario S1 permet une augmentation de 21 euros/ha de la MBG grâce aux économies réalisées sur les concentrés remplacés par la consommation d'intercultures par le troupeau et aux économies en fertilisation minérale via l'enfouissement de l'avoine-vesce. Le scénario S1 permet une diminution de 5,9 kgN/ha/an du NS pour atteindre -0,3 kgN/ha/an. Le scénario 2 permet une augmentation de 61 euros/ha de la MBG et une NS de 2,74 kgN/ha/an en lien avec la fixation d'azote permise par une année de trèfle violet. Les deux scénarios permettent à l'agriculteur d'atteindre l'objectif de ne plus acheter de concentré azoté pour l'alimentation animale. Lors de l'évaluation collective de ce scénario, les agriculteurs ont souligné l'intérêt de ce type de scénario tant pour se sécuriser par rapport au marché des concentrés azotés que pour les apports aux sols.

Le bilan travail a mis en évidence deux limites à cette innovation: la gestion de chantiers d'enrubannage supplémentaires pour stocker les intercultures et la période de semis des intercultures à respecter dans les trois jours suivant la récolte de la culture précédente pour garder l'humidité dans le sol. La première limite sera levée par GSB en déléguant

l'enrubannage à la CUMA, les charges liées à ce choix étant prises en compte dans les simulations finales. La seconde limite serait gérée par une mise en œuvre des intercultures sous couvert de la céréale précédente au printemps, ce qui donne une plus grande flexibilité au niveau du travail et permettrait aussi une meilleure implantation.

2.2. Un atelier de finition de génisses pour durer dans le type « Diversification »

Le cas réel retenu est une exploitation gérée par 1 UTA : GR, 30 ans, en cours d'installation. Les 85 ha de SAU sont composés de 50 ha de prairies (15 ha temporaires ; 35 ha permanentes) et 35 ha de cultures (8 ha de maïs fourrager et 2 ha de triticale pour le troupeau ; 17 ha de blé, 4 ha de tournesol et 5 ha de soja pour la vente). Le troupeau comporte 45 vaches allaitantes de race Blonde d'Aquitaine soit un chargement de 1,5 UGB/ha. Le taux de renouvellement du troupeau est de 20%. Les génisses restantes et les broutards sont vendus maigres à 240 kg ; les vaches de réforme sont vendues maigres. Le paramétrage de cette exploitation dans CLIFS nous servira de scénario témoin (S0) pour simuler les scénarios innovants (Tableau 5)

Tableau 5 : Résultats du paramétrage du scénario témoin dans l'exploitation de GR à 50 vaches

| | Données réelles de l'exploitation (2012) | Scénario paramétré S0 Reproduction d'exploitation |
|----------------------------|--|--|
| Bilan fourrager - foin | Excès et possibilité d'agrandir | 21, 61 t |
| Bilan mensuel | Positif- limite fin printemps | Positif sauf mars |
| Constitution de stock | Oui – environ 3 mois | Oui – 79, 5 t (3 mois) |
| Bilan annuel maïs ensilage | 0 t – utilisation de tout | -0,69 t |
| Bilan fumure organique | Utilisation sur le maïs | 0 t |
| Offre fumure organique | Environ 200 t par an | 197 t |
| Bilan en paille | 40 bottes de 350 kg | 15, 7 t |

GR souhaite agrandir son troupeau à 60 vaches, c'est-à-dire la limite de l'autonomie alimentaire de l'exploitation selon lui. Nos simulations montrent qu'un troupeau de 60 mères en plus des cultures ne lui laissent de marge de manœuvre sur ses stocks fourragers. Un tel agrandissement serait risqué. Notre scénario initial a été calibré à 50 vaches.

Concernant les types d'animaux à finir, nous avons retenu l'option de finition de génisses, les broutards étant mieux valorisés sur le marché du maigre. Selon les instituts techniques, la finition de génisses alourdies à 350 kg vifs pour 9 mois est réalisée chez des agriculteurs pour la vente directe. Elle peut aussi correspondre à une demande de circuits courts avec un intermédiaire (boucher, coopératives,...). De plus, des génisses de 9 mois seraient un bon compromis par rapport à des génisses de deux ans qui représenteraient une immobilisation de capital, une surcharge de travail, l'occupation prolongée des bâtiments et des risques d'accident (sanitaire ou autre). Nous avons choisi de simuler la commercialisation en vente directe : le prix de vente est intéressant (7,5 €/kgc) ; le lien avec le consommateur renforcé. Les coûts et la charge de travail pour l'abattage et la commercialisation constituent néanmoins des limites importantes. La possibilité de vendre en circuit court avec un intermédiaire serait alors un compromis : le prix de vente serait moindre (5,1 €/kgc) mais meilleur qu'en circuit long ; la charge en travail est limitée. Les génisses seraient produites à nombre de vêlages constant. Pour conserver une certaine autonomie, les génisses seraient finies à partir d'une farine de céréales autoproduites (triticale, blé tendre et maïs) et du stock de fourrages disponible sur l'exploitation.

Les scénarios intègrent la finition de 10 génisses de 10 mois à 350 kg vifs commercialisées en circuit court : vente directe (scénario 1) ou avec un intermédiaire (scénario 2).

Les résultats de simulation sont détaillés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Résultats des simulations sur l'exploitation de type « Diversification »

| Indicateurs | MBG/ha | Bilan N | MBG élevage |
|--|-------------------------|---------------|-------------|
| S0 Situation initiale (50 VA) | 717 €/ha | + 50,3 kgN/ha | 70% |
| S1 :10 génisses de 350 kg vifs en vente directe | 840 €/ha (+123 €/ha) | + 49,7 kgN/ha | 78% |
| S2 : 10 génisses de 350 kg vifs en circuit court à 1 intermédiaire | 773 €/ha (26 €/ha) | + 49,7 kgN/ha | 76% |

Par rapport au scénario témoin, les scénarios 1 et 2 permettent, respectivement, une augmentation de 123 euros/ha et de 26 euros/ha de la MBG. Les deux scénarios accentuent le déséquilibre de la MBG de l'exploitation vers l'élevage : le produit d'élevage est augmenté par une meilleure valorisation des génisses alors que le produit des cultures diminue en lien avec l'autoconsommation d'une plus grande quantité de céréales. Les scénarios ont en revanche peu d'influence sur le NS car ils ne modifient pas l'assolement: le NS diminue seulement de 0,6 kgN/ha en lien avec l'utilisation de triticales autoproduit dans l'alimentation des génisses. L'évaluation collective de ce scénario a permis de souligner l'intérêt de cette innovation pour améliorer la MBG sur l'atelier élevage. Néanmoins, le risque de ne pas trouver de débouché en vente directe (en lien avec une concurrence croissante) a été soulevé.

Le bilan travail a contribué à la pertinence du paramétrage des scénarios : il a confirmé un agrandissement pertinent à 50 mètres maximum pour permettre de conserver des marges de manœuvre en maintenant élevage et cultures. Ce bilan nous a aussi permis de limiter le nombre de génisses à finir à dix pour que GR n'ait à gérer ni abattage ni commercialisation pendant les deux mois de fin d'été très prenants au niveau des cultures. Le bilan travail a aussi pointé une limite majeure à cette innovation : au moins 2 jours de travail seraient nécessaires par génisse pour l'abattage et les livraisons, sans considérer les relations avec les clients. Ce scénario peut être risqué pour 1 UTA seul.

2.3. Tester la robustesse des scénarios selon des changements de contexte

Dans tous les scénarios considérés pour chaque exploitation, la MBG est largement défavorisée dans le contexte « Globalisation » et favorisée dans le contexte « Glocalisation » . (Par rapport au contexte actuel, la MBG du scénario S0 diminue d'au moins 200 €/ha et augmente d'au moins 200 €/ha dans les deux cas - tableau 7).

Tableau 7: Sensibilité de la MBG/ha des exploitations aux contextes futurs de PAC et de marchés sous les scénarios S0, S1 et S2 (en euros/ha)

| | 2012 | Globalisation | Glocalisation |
|--|------------|---------------|---------------|
| S0 : Exploitation actuelle GSB | 683 | 465 | 824 |
| S1 : Trèfle violet enrubanné et avoine-vesce | 696 (+13) | 484 (+19) | 946 (+122) |
| S2 : Idem S1 + gel du TV | 744 (+61) | 527 (+62) | 994 (+170) |
| S0 : Exploitation actuelle GR | 647 | 407 | 820 |
| S1 : 10 génisses pour vente directe | 761 (+114) | 500 (+93) | 934 (+114) |
| S2 : 10 génisses en circuit court à un intermédiaire | 694 (+47) | 438 (+31) | 867 (+47) |

Concernant le type « Autonomie », la projection des résultats en contexte contrasté montre que dans chaque contexte, le scénario 2 (gel du trèfle violet) est le plus favorable à la MBG de l'exploitation ; le scénario 2 reste plus favorable que le S0. Concernant le type « Diversification », le scénario 1 (vente directe) est le plus favorable dans les deux contextes ; le scénario 2 ne présente pas d'intérêt majeur. La mise en œuvre des innovations considérées permet donc des améliorations de MBG à la marge dans toutes les configurations mais ne suffiraient pas à maintenir la polyculture-élevage dans un contexte drastique. Ces scénarios alternatifs ne suffiraient en effet pas à compenser un contexte futur très défavorable à

l'élevage comme le contexte « Globalisation » qui reste très contraignant pour la MBG dans tous les cas considérés.

3. Discussion

3.1. Des scénarios au carrefour de préoccupations sur la polyculture-élevage

Cette étude prospective permet d'identifier des pistes pour la recherche sur les systèmes de polyculture-élevage dans une perspective de développement durable de l'agriculture. La mise en œuvre de cultures intermédiaires est une innovation technique majeure, dans les systèmes de grandes cultures (Schneider et al., 2010). Les intercultures sont reconnues pour la maîtrise des fuites d'azote et plus largement pour d'autres services écosystémiques (qualité des sols, érosion, biodiversité) Justes et al., 2012). Mais c'est aussi une piste prometteuse pour les systèmes de polyculture-élevage (Schiere et Kater, 2001) qui s'inscrit dans le cadre des réflexions actuelles en agro-écologie (Altieri, 1996 ; Gliessman, 1995). Dans les exploitations de polyculture-élevage, l'agriculture de conservation se réfléchit en lien avec l'alimentation du troupeau, démarche également à l'œuvre en région tropicale (Le Gal et al., 2011).

La mise en œuvre d'un atelier de finition rejoint des réflexions plus large sur la viabilité économique de l'élevage allaitant au niveau régional et de l'élevage allaitant européen (Mosnier et al., 2009 ; Veysset et al., 2005) dans un contexte de re-territorialisation des productions et de recherche de valeur ajoutée. Des recherches sur la conversion à l'agriculture biologique pour sortir des circuits longs ont montré que la finition de génisses pouvait être une solution pertinente s'il n'y avait pas de surcoût en concentrés achetés (Veysset et al., 2009). L'amélioration de l'autonomie alimentaire est alors vue comme une voie pertinente et accessible aux exploitations de polyculture-élevage alliant bovins allaitants et grandes cultures (Veysset et Benoît, 2003). L'augmentation des surfaces cultivées au détriment de la taille des troupeaux permettrait d'atteindre les meilleures MBG (Veysset et Bébin, 2006). Ceci pourrait remettre en question le maintien de la polyculture-élevage par un déséquilibre des exploitations en faveur des grandes cultures, comme le montrent aussi nos simulations sur le type « Diversification ». Les réflexions conduites sont essentielles pour le maintien de l'élevage et donc de la polyculture-élevage dans les zones dites défavorisées, dans lesquelles

les agriculteurs n'ont pas suivi les politiques de développement poussant à la spécialisation et à la simplification des pratiques (Darnhofer et al., 2010).

Les innovations retenues permettent d'améliorer la MBG des exploitations mais ne sembleraient pas suffire à compenser à contexte futur des marchés et politiques très contraignant pour l'élevage, comme le contexte « Globalisation ». Ainsi, des incitations politiques à la diversification des ateliers ou à l'autonomie devraient être associées à la mise en œuvre de ces innovations pour permettre le maintien de la polyculture-élevage. Cette voie permettrait en effet de favoriser le maintien de tels systèmes et éviterait un contexte du type « Globalisation ». Dans le contexte « Glocalisation », des incitations politiques plus territoriales bénéficieraient largement aux exploitations, et d'autant plus avec la mise en œuvre d'une innovation de type finition avec une valorisation en circuit court. Les agriculteurs ont aussi exprimé au cours de la démarche des inquiétudes concernant la main d'œuvre sous deux aspects : les problèmes d'organisation du travail sur des exploitations agrandies et les possibilités de transmission des exploitations face à l'absence de successeurs. Le premier a été considéré dans notre étude par une analyse de type bilan travail pour évaluer la faisabilité de la mise en œuvre des innovations retenues. La démographie agricole n'a par contre pas été considérée dans cette étude, ce qui constitue une limite à notre travail.

3.2. Connaissances actionnables pour les partenaires

Comme l'ont souligné Soulard et al. (2007), les démarches en partenariat doivent fournir des connaissances scientifiques mais aussi des connaissances dites actionnables, c'est-à-dire pertinentes pour les partenaires locaux impliqués. Lors des entretiens « à froid », les agriculteurs ont pointé des apprentissages au niveau de l'approche économique globale de l'exploitation. Ils se sont dits habitués à voir des MBG analysées par leurs conseillers sans pour autant s'y être intéressés auparavant. Cette approche globale leur a permis de comprendre « qu'il ne fallait plus toujours faire la course » et que « la performance serait de savoir à partir de quand on dépense trop pour produire. ». Ceci appelle à un changement de paradigme comme le proposaient (van Keulen et Schiere, 2004) en intégrant le principe de « communal ideotype », selon lequel une bonne productivité du système est plus importante

qu'une bonne productivité de ses parties indépendantes. L'analyse des trajectoires leur a permis un retour sur les fondements de l'agriculture locale et des pratiques. Le regard objectif de la recherche leur a permis de « mieux comprendre l'évolution de l'agriculture locale » et de prendre du recul par rapport à leurs stratégies

La démarche a aussi permis aux partenaires d'acquérir un certain nombre de nouvelles connaissances techniques en lien avec les innovations ciblées. Les questions d'autonomie protéique, de dates et méthodes d'implantation des légumineuses ont été abordées, ainsi que l'organisation du travail et les débouchés en vente directe ou la nécessité de limiter le maïs dans l'alimentation des jeunes bovins à finir. Les simulations sur des cas réels ont permis aux agriculteurs d'échanger leurs expériences et de « voir ce qui pouvait être faisable ou non localement ». La dimension localisée des travaux est apparue particulièrement aux agriculteurs et a permis que « le sujet soit vraiment dans [leurs] cordes pour une fois avec des résultats concrets ». Ces résultats ont ainsi plutôt servi d'artefacts, pour susciter la discussion collective. Les résultats ont donc servi de support à une discussion enthousiaste en stimulant l'analyse réflexive et interactive, comme l'ont souligné d'autres auteurs dans ce type de démarche (ComMod, 2005 ; Martin et al., 2011b). Les partenaires ont aussi apprécié de partager leurs visions de l'agriculture entre eux et avec « d'autres corps de métiers qui pouvaient avoir un regard objectif sur la situation locale ». Non, seulement ils estiment qu'on apprend de l'expérience des autres mais surtout que de « se retrouver, ça met du baume au cœur. »

Conclusion

Cette étude prospective permet d'identifier des voies techniques porteuses pour la recherche sur les systèmes de polyculture-élevage dans une perspective de développement durable de l'agriculture. La mise en œuvre de cultures intermédiaires est une innovation technique majeure dans les systèmes de grandes cultures ; elle est encore peu abordée comme option pour une durabilité de la polyculture-élevage. La mise en œuvre d'un atelier de finition rejoint les réflexions sur la viabilité économique de l'élevage allaitant européen dans un

contexte de re-territorialisation des productions et de recherche de valeur ajoutée. Ces intérêts peuvent être étendus aux questions concernant la polyculture-élevage.

Les scénarios prospectifs retenus peuvent aider au maintien des systèmes de polyculture-élevage en leur conférant une plus grande résilience en contexte incertain. Notre démarche s'intègre dans les démarches « simulation-based participatory » ou « design support modeling ». Elle est originale en ce sens où elle mobilise une étude rétrospective des chemins pour durer en polyculture-élevage comme fondement de l'étude prospective. Ainsi, les innovations proposées sont dans la continuité des stratégies de long terme des agriculteurs : elles seraient donc pertinentes localement et susceptibles d'être adoptées.

Ce type de démarche participative a permis d'impliquer les acteurs locaux dans une réflexion avec un collectif de chercheurs. La forte implication des acteurs a permis de susciter l'apprentissage collectif comme individuel des partenaires et de créer des connaissances actionnables. Les réunions collectives ont ainsi permis à différents types d'agriculteurs mais aussi à différents corps de métiers de partager leurs visions de l'avenir local de la polyculture-élevage. Notre démarche a donc permis le croisement de différents types de connaissances : empiriques, techniques et scientifiques issues respectivement des producteurs, instituts de développement et de la recherche.

Références bibliographiques

- Agreste 2010. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire - Agreste - RICA France - Tableau standard RICA 2002-2008.
- Agrimonde 2010. Scénarios et défis pour nourrir le monde en 2050. Coordination éditoriale de Sandrine Paillard, Sébastien Treyer et Bruno Dorin, Collection Matière à débattre et décider, Editions Quae, 295 pp.
- Carberry PS, Hochman Z, McCown RL, Dalgliesh NP, Foale MA, Poulton PL, Hargreaves JNG, Hargreaves DMG, Cawthray S, Hillcoat N and Robertson MJ 2002. The FARMSCAPE approach to decision support: farmers', advisers', researchers' monitoring, simulation, communication and performance evaluation. *Agricultural Systems* 74, 141-177.
- Charroin T and Ferrand M 2010. Elaboration d'un jeu de coefficients pour analyser les coûts de structure d'une exploitation - Application aux charges de mécanisation des systèmes de polyculture-élevage. In *Renc.Rech.Ruminants* (), pp. 413-416.
- Choisis J.P., Sourdril A., Deconchat M, Balent G and Gibon A. 2010. Understanding regional dynamics of mixed crop-livestock agricultural systems to support rural development in South-western France uplands. *Cahiers Agriculture* 19 (2), 97-103.
- Dedieu B. and Serviere G. 1997. La méthode Bilan Travail et son application. *Options Méditerranéennes Série A* 38, 353-364.
- FAO 1995. *Digital Soil Map of the World and Derived Soil Properties*. Land and Water Digital Media Series No. 7, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. In (), pp.
- FAO 2012. *World Agriculture Toward 2030/2050*. ESA Working Paper 12 03. Available at : <http://www.fao.org/economic/esa/esag/en/>. pp.
- Hendrickson J.R., Hanson J.D., Tanaka D.L. and Sassenrath G.F. 30-6-2008a. Principles of integrated agricultural systems : Introduction to processes and definition. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23(4), 265-271.
- Hendrickson J.R., Sassenrath G.F., Archer D., Hanson J.D. and Halloran J. 2008b. Interactions in integrated US agricultural systems : The past, present and future. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23(4), 314-324.
- Herrero M., Thornton P.K., Notenbaert A.M., Wood S., Msangi S., Freeman H.A., Bossio D., Dixon J., Peters M., vandeSteege J., Lynam J., Parthasarathy Rao P., Macmillan S., Gerard B., McDermott J., Seré C. and Rosegrant M. 2010. *Smart Investments in*

- Sustainable Food production : Revisiting Mixed Crop-livestock systems. Science 327, 822-825.*
- INRA (Ed.), 20 07. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux- Valeur des aliments. Tables INRA 20 07. Quae Editions, Paris, France.*
- Justes E, Beaudoin N, Bertuzzi P, Charles R, Constantin J, Dürr C, Hermon C, Joannon A, Le Bas C, Mary B, Mignolet C, Montfort F, Ruiz L, Sarthou JP, Souchère V, Tournebize J, Savini I and Réchauchère O 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires : conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. -60 pp.*
- Le Gal P.-Y., Andrieu N., Dugué P., Kuper M and Sraïri MT 2011. Des outils de simulation pour accompagner des agroéleveurs dans leurs réflexions stratégiques. Cahiers Agriculture 20(5), 413-420.*
- Martin G, Felten B and Duru M. 2011a. Forage rummy: a game to support the participatory design of adapted livestock systems. Environ.Modell.Softw. 26, 1442-1453.*
- Martin G, Martin-Clouaire R. and Duru M. 2011b. Farming system design to feed the changing world: a review. Agronomy for Sustainable Development 32.*
- Meynard JM 2012. Conclusion In: CIAG, Associer productions animales et végétales pour des territoires agricoles performants, 24 octobre 2012, Poitiers, France.*
- Moulin C.-H., Ingrand S., Lasseur J., Madelrieux S., Napoléone M., Pluvinage J. and Thénard V. 2008. Comprendre et analyser les changements d'organisation et de conduite de l'élevage dans un ensemble d'exploitations : propositions méthodologiques. In L'élevage en mouvement : Flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores. (eds Dedieu B., Chia E., Leclerc B. and Moulin C.-H.), pp. 181-196.*
- Romera AJ, Morris ST, Hodjson J, Stirling WD and Woodward SJR 2004. A model for simulating rule-based management of cow-calf systems. Comp Elec Agr 42, 67-86.*
- Russelle M.P., Entz M.H and Franzluebbbers A.J. 6-2-2007. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. Agronomy Journal 99, 325-334.*
- Ryschawy J., Choisis N., Choisis J.P., Joannon A. and Gibon A. 2012a. Paths to last in mixed crop-livestock farming: lessons from an assessment of farm trajectories of change. Animal doi:10.1017/S1751731112002091.*
- Ryschawy J, Choisis N, Choisis JP, Joannon A and Gibon A 2012b. Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming? Animal 6, 1722-1730.*
- Schiere J.B., Ibrahim M.N.M. and van Keulen H. 2002. The role of livestock for sustainability in mixed farming :criteria and scenario studies under varying resource allocation. Agriculture, Ecosystems and Environment 90, 139-153.*

- Schiere J.B. and Kater L. 2001. Mixed crop-livestock farming. A review of traditional technologies based on literature and field experiences.,152, FAO Animal Production and health paper.*
- Schneider F, Ledermann T, Fry P and Rist S 2010. Soil Conservation in Swiss Agriculture - Approaching Abstract and Symbolic Meanings in Farmers' Life-worlds. Land Use Policy 27, 332-339.*
- van Notten PWF, Rotmans J, van Asselt MBA and Rothman DS 2003. An updated scenario typology. Futures 35, 423-443.*
- Wilkins RJ 2008. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences 363, 517-525.*

AUTEUR : Julie RYSCHAWY

TITRE : Eclairer les conditions de maintien d'exploitations de polyculture-élevage durables en zone défavorisée simple européenne. Une étude de cas dans les Coteaux de Gascogne.

DIRECTEURS DE THESE : Annick GIBON et Alexandre JOANNON

LIEU ET DATE DE SOUTENANCE : INRA Toulouse, 7 novembre 2012

RESUME

Les exploitations de polyculture-élevage sont de plus en plus reconnues au plan international comme limitant les problèmes environnementaux tout en permettant une agriculture productive et économiquement viable. Les incitations à la spécialisation de la PAC et la diminution de la main d'œuvre agricole les ont néanmoins marginalisées en Europe. Cette thèse vise à éclairer les conditions de maintien d'exploitations de polyculture-élevage durables. Un travail en partenariat avec des agriculteurs, maires et conseillers agricoles a été conduit sur un cas d'étude en zone défavorisée simple française, les Coteaux de Gascogne. Nos travaux ont montré que, malgré une forte variabilité entre exploitations, la polyculture-élevage locale était un bon compromis par rapport à la spécialisation pour une durabilité environnementale et économique. Une analyse des trajectoires passées des exploitations nous a permis d'éclairer quatre types de « chemins pour durer » en polyculture-élevage. Parmi ceux-ci, deux sont apparus pertinents pour le maintien de la polyculture-élevage en contexte incertain : « maximiser l'autonomie » et « diversifier les ateliers ». Sur la base de ces deux types de trajectoires, nous avons co-construit avec les partenaires deux scénarios techniques prospectifs. Pour le type « maximiser l'autonomie », implanter des intercultures fourragères basées sur des légumineuses permettrait de favoriser l'autonomie alimentaire du troupeau en maintenant la fertilité des sols. Pour le type « diversifier les ateliers », finir des génisses permettrait de les valoriser en circuit court. Ces scénarios ont été adaptés puis simulés sur des exploitations locales. Ce type de démarche a permis i) d'impliquer fortement les acteurs locaux via des réunions collectives et ii) une approche prospective originale fondée sur une étude rétrospective intégrant le temps long.

MOTS-CLES : polyculture-élevage ; adaptation ; partenariat ; prospective ; trajectoires

ABSTRACT

Mixed crop-livestock farms are again attracting worldwide interest, as they are considered to be a good way to limit environmental problems while allowing a productive and economically viable agriculture. The incentives of the Common Agricultural Policy and decreasing workforce availability nevertheless marginalized these farms in Europe. This thesis aims at understanding the conditions for a survival of sustainable mixed crop-livestock farms. A partnership process with farmers, mayors and technical advisers has been led in a French less favoured area, the Coteaux de Gascogne. Our work has shown that even if a wide variability existed between farms, local mixed crop-livestock farming was a good trade-off compared to farm specialization concerning an environmental and economic sustainability. An analysis of farm past trajectories allowed us to enlighten four “paths to last” in mixed crop-livestock farming. Two of these ones appeared to be suitable paths to maintain mixed crop-livestock farms in a uncertain context: “maximizing autonomy” and “diversification of production units”. On the basis of these two types of trajectories, we have co-constructed with local actors two technical prospective scenarios. In line with the type “maximizing autonomy”, forage legume intercropping could enable to autonomously feed the bovine herd while maintaining soil fertility. In line with the type “diversification of production units”, fattening heifers would allow a commercialization through short circuit. These scenarios have been adapted and then simulated on local farms. This type of approach allowed to i) strongly involve local actors through collective meetings and ii) an original future study based on a retrospective study integrating long time changes.

KEYWORDS : mixed crop-livestock farming ; adaptation ; partnership ; future studies ; trajectories.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Zootechnie

LABORATOIRE D'ACCUEIL : INRA, UMR 1201 DYNAFOR, TOULOUSE