

Cet article de la revue **Fourrages**,
est édité par l'Association Française pour la Production Fourragère

Pour toute recherche dans la base de données
et pour vous abonner :

www.afpf-asso.org

Mieux coupler cultures et élevage dans les exploitations d'herbivores conventionnelles et biologiques : une voie d'amélioration de leur durabilité ?

G. Martel¹, C. Guilbert², P. Veysset³, R. Dieulot⁴, D. Durant⁵, P. Mischler⁶

Les systèmes de polyculture - élevage, qu'ils soient conventionnels ou en agriculture biologique, ont des atouts pour faciliter la gestion durable des agroécosystèmes et réduire les externalités négatives. On observe une large diversité de façons de pratiquer la polyculture - élevage. Comment caractériser le couplage entre cultures et élevage dans ces exploitations ?

RÉSUMÉ

Pour caractériser le couplage, 10 critères ont été utilisés et adaptés aux données disponibles de 3 bases de données, et une ACP a été réalisée sur 1 190 fermes ; un score de couplage a été défini pour chacune d'elle puis confronté à ses performances économiques et environnementales. Les fermes en agriculture biologique sont en moyenne plus fortement couplées que les fermes conventionnelles. Les exploitations avec un niveau de couplage élevé ont de meilleures performances environnementales, une meilleure efficacité économique (grâce à des charges opérationnelles inférieures) mais le résultat courant par unité de main d'œuvre est indépendant du niveau de couplage. Les effets du couplage et du passage en agriculture biologique sont additifs.

SUMMARY

Effectively combining crop and livestock systems on conventional and organic farms: a means for increasing system sustainability?

Mixed crop-livestock systems are highly diverse, especially in their ways of coupling crop and livestock. Here, to characterise this diversity, we used 10 criteria adapted to data from 3 databases. A PCA was carried out using information on 1,190 farms. A coupling score, reflecting the degree of coupling, was calculated for each farm and was then related to farm economic and environmental performance. On average, organic farms had higher degrees of coupling than did conventional farms. Farms with greater coupling displayed better environmental performance and greater economic efficiency (thanks to lower operating expenses). However, operating revenue per farm labour unit was independent of the coupling score. The degree of coupling and transition to organic farming had additive effects.

Depuis les années 1950, le modèle d'agriculture français, basé sur l'association culture - élevage et largement tourné vers l'autoconsommation familiale, a connu une révolution avec l'incorporation de moyens de production industriels (MAZOYER et ROUDART, 1997). La modernisation de l'agriculture, encouragée par des politiques agricoles orientées vers la sécurité

alimentaire, et l'accessibilité des produits à tous les citoyens (BUREAU, 2007) grâce à une productivité accrue ont conduit à l'intensification et la spécialisation des exploitations agricoles (CHATELLIER et GUYOMARD, 2008 ; PEYRAUD *et al.*, 2014). Ce mouvement s'est traduit par une diminution de la part relative des exploitations classées dans l'orientation technico-économique (OTEX) polyculture - polyélevage de

AUTEURS

1 : INRA, UMR BAGAP, 65, rue de Saint-Brieuc, CS 84215, F-35042 Rennes Cedex ; gilles.martel@inra.fr

2 : UniLaSalle, Campus de Rouen, F-76230 Mont-Saint-Aignan

3 : INRA, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle

4 : Réseau CIVAM, SPEA - Pôle Agriculture Durable Grand Ouest, F-35577 Cesson-Sévigné

5 : INRA, Unité Expérimentale de Saint-Laurent-de-la-Prée, UE0057, F-17450 Saint-Laurent-de-la-Prée

6 : IDELE, Service Fourrages et Pastoralisme, F-80096 Amiens

MOTS CLÉS : Agriculture biologique, aspect économique, autonomie, bovin, caprin, céréales, diagnostic, enquête, environnement, exploitation agricole, fertilisation, ovin, pesticide, polyculture - élevage, prairie, système d'exploitation.

KEY-WORDS : Cattle, crop system, diagnosis, economic aspect, environment, farm, fertilisation, goats, grassland, mixed crop-livestock system, organic farming, pesticide, self-sufficiency, sheep, survey.

RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE : Martel G., Guilbert C., Veysset P., Dieulot R., Durant D., Mischler P. (2017) : «Mieux coupler cultures et élevage dans les exploitations d'herbivores conventionnelles et biologiques : une voie d'amélioration de leur durabilité ?», *Fourrages*, 231, 235-245.

la statistique nationale au profit des exploitations spécialisées (AGRESTE, 2011) : en 1988, ces exploitations représentaient 17 % de l'ensemble des exploitations professionnelles et moins de 13 % en 2010. **Cette vision de la polyculture - élevage, basée sur la structure et la dimension économique des exploitations, n'est cependant pas la seule possible.**

1. Le couplage comme critère pour caractériser la diversité de fonctionnement des exploitations de polyculture - élevage

Les deux principales approches, sous les appellations de « *mixed crop livestock systems* » et « *integrated crop livestock systems* », décrivent la polyculture - élevage respectivement comme une diversité de productions pour la première (vision « structurelle », proche de celle de l'OTEX) et comme le couplage¹ entre cultures et élevage pour la seconde (vision « fonctionnelle », où le couplage représente l'intensité des productions animales et végétales). La vision fonctionnelle inclut ainsi des exploitations dites « spécialisées en élevage » (exportant uniquement des produits animaux) mais qui consomment des céréales produites sur l'exploitation. Des définitions intermédiaires ont aussi été proposées, comme celle de SÉRÉ *et al.* (1996) qui définissent la polyculture - élevage 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* ». Outre les critères pris en compte pour qualifier ou non un système de polyculture - élevage, la question de l'échelle est souvent abordée : à la parcelle (le couvert implanté est parfois destiné aux animaux, parfois à la vente), à l'exploitation, à un groupe d'exploitations qui coopèrent, à un territoire ou encore au sein d'une filière (MORAINE *et al.*, 2017). L'échelle de décision et l'échelle de collecte des données technico-économiques par les conseillers est celle de l'exploitation ; c'est aussi celle qui est la plus souvent prise en compte dans la littérature.

Les principaux bénéfices des systèmes de polyculture - élevage évoqués dans la bibliographie **sont généralement relatifs à la question du couplage entre cultures et élevage**. Ainsi, le couplage faciliterait le recyclage des nutriments, limitant les pertes vers l'environnement (HENDRICKSON *et al.*, 2008a ; TITTONELL, 2013). Cela améliorerait la résilience des exploitations face aux aléas économiques et climatiques (RIGOLOTT *et al.*, 2017), tout en permettant une agriculture productive et économiquement viable (LEMAIRE *et al.*, 2014 ; RUSSELLE *et al.*, 2007 ; WILKINS, 2008). Ces vertus ne sont pas toujours retrouvées dans la pratique. Ainsi RYSCHAWY *et al.* (2012) ou VEYSSET *et al.* (2014) trouvent des performances environnementales et économiques plus faibles dans les exploitations de polyculture - élevage (PCE) que dans les exploitations spécialisées. Certains auteurs soulignent des limites à la polyculture -

élevage si les ateliers élevage et cultures ne sont que juxtaposés et faiblement coordonnés (BELL et MOORE, 2012 ; HENDRICKSON *et al.*, 2008b ; SCHIERE et KATER, 2001). **L'agriculture biologique (AB) favorise en théorie les interactions entre cultures et élevage** : en interdisant l'usage d'engrais et de pesticides chimiques ainsi que l'utilisation d'aliments contenant des OGM, elle incite à valoriser les complémentarités entre les ateliers (valorisation des effluents, introduction de la culture de légumineuses pour la fertilité des sols et l'alimentation du troupeau...) (IFOAM, 2008). C'est certainement ce qui explique que GOMIERO *et al.* (2011) aient rapporté un ensemble de travaux montrant l'intérêt des systèmes AB pour l'environnement. Sur le plan des performances économiques de l'AB, OFFERMANN et NIEBERG (2000) concluent à des rentabilités similaires entre les exploitations en AB et celles en agriculture conventionnelle.

Toutefois, derrière le terme de couplage, il y a une diversité de modalités d'interactions entre les ateliers cultures et élevage (complémentarités temporelles et spatiales, flux de matières, matériel et travailleurs en commun...) (MORAINE *et al.*, 2017 ; RYSCHAWY *et al.*, 2014). **Qualifier le niveau de couplage exige d'explorer une diversité de critères**. Au sein du Réseau Mixte Technologique sur les Systèmes de Polyculture - Elevage (RMT SPYCE), RASAMBA-TRA (2015) a proposé une liste de 20 critères, établis à partir d'une analyse bibliographique et d'entretiens avec des porteurs de projets autour de la PCE. Ces critères couvrent l'usage des produits et sous-produits végétaux pour l'alimentation animale et les bâtiments, la dépendance aux intrants alimentaires, l'adaptation des animaux au milieu, l'usage des effluents d'élevage pour la fertilisation des cultures, la polyvalence du matériel et des travailleurs. Ces critères sont difficilement mobilisables sans réaliser d'enquêtes auprès des agriculteurs et rendent complexe une analyse sur un grand nombre d'exploitations. Cependant, il existe un gisement de données issues d'un grand nombre de fermes collectées par divers acteurs (conseillers des Chambres d'agriculture, techniciens de coopératives, personnels d'instituts de recherche...) et qui pourraient être valorisées pour tester l'intérêt du couplage cultures - élevage sur les performances environnementales et économiques des exploitations. Ces bases regroupant des exploitations de structures et de filières variées réparties dans toute la France, il est cependant nécessaire de contrôler ces facteurs lors de leur analyse.

L'objectif de ce travail est i) de **proposer un indicateur de couplage synthétique** à partir des informations habituellement collectées dans des bases de données techniques, ii) de **vérifier l'hypothèse que les exploitations en AB mettent en œuvre un couplage plus important que les exploitations conventionnelles** et iii) de **évaluer les performances environnementales et économiques d'un échantillon diversifié d'exploitations** de polyculture - élevage, en systèmes ruminants, selon le niveau de couplage cultures - élevage (sensé améliorer les performances environnementales, sans conséquences économiques), la filière de production, l'importance relative des surfaces des cultures non fourragères (SNF, pouvant jouer sur les performances économiques des exploitations) et le mode de production (la

1 : Le terme « couplage » est préféré au terme « intégration » pour éviter la confusion avec les élevages intégrés au sein d'une filière.

Filière*	BL	BV	OV	OL	CL	Total
Base de données						
- Réseau CIVAM	36+39	0	0	0	0	36 + 39 (=75)
- Charolais	0	51+13	0	0	0	51 + 13 (=64)
- INOSYS	334+36	354+17	193+5	36+4	67+5	984 + 67 (=1051)
dont fermes ayant les données disponibles pour les analyses économiques et environnementales	306+32	305+15	170+5	35+4	60+5	876 + 61 (=937)
Total	370+75 (=445)	405+30 (=435)	193+5 (=198)	36+4 (=40)	67+5 (=72)	1071 + 119 (=1190)

* BL : bovin lait ; BV : Bovin Viande ; OV : Ovin Viande ; OL : Ovin Lait ; CL : Caprin Lait

TABLEAU 1 : Répartition des exploitations (agriculture conventionnelle + biologique) de l'échantillon par filière et selon la base de données.

TABLE 1 : Distribution of study farms (conventional + organic) by industry and database.

production AB devant être plus performante que la production conventionnelle sur les critères environnementaux et similaire sur les performances économiques).

2. Matériels et méthodes

■ Données utilisées

Travaillant à l'échelle de l'exploitation agricole et afin d'avoir une diversité de systèmes associant cultures et élevage, nous avons mobilisé des données structurelles, techniques et économiques issues de **trois réseaux d'élevage** partenaires du projet CASDAR RED SPyCE (Résilience - Efficience et Durabilité des systèmes de PCE) finançant cette étude. De ces bases de données, nous avons retenu les exploitations ayant des informations sur trois années successives (2011-2013). Les données de ces trois années ont été moyennées dans les analyses afin de limiter l'effet année climatique ou économique. Le sous-échantillon de la base de données Inosys Réseaux d'élevage (INSTITUT DE L'ÉLEVAGE et CHAMBRES D'AGRICULTURE, 2014) regroupe des exploitations d'élevage de 5 filières : Bovin viande et lait, Ovin viande et lait et Caprin lait réparties dans toute la France. Le sous-échantillon de la base de données Réseau CIVAM est composé d'exploitations spécialisées Bovin lait cherchant à être économe et autonome. Enfin, le sous-échantillon de la base Charolais de l'INRA concerne des élevages Bovin viande du bassin charolais (nord-ouest du Massif central).

Nous distinguons ensuite **2 échantillons** dans les analyses :

- Le premier, qui a servi au calcul du niveau de couplage culture - élevage des exploitations, est constitué de 1 190 exploitations, dont 119 en agriculture biologique ; leur répartition entre les trois bases est présentée tableau 1.

- Le second a servi à l'évaluation des performances économiques et environnementales des exploitations. C'est un sous-échantillon de 937 exploitations de la base de données Inosys, où les conseillers ont saisi des informations complémentaires (tableau 1). En effet, si les trois bases visent à caractériser les structures et les performances technico-économiques des exploitations, elles ne contiennent pas toutes les critères nécessaires au calcul des indicateurs de performances choisis. De plus, compte tenu des effectifs disponibles dans cet échantillon, nous n'avons analysé que les performances de l'ensemble de l'échantillon avec un

focus sur les deux filières bovines. Cet échantillon sera nommé « échantillon Inosys » dans la suite du texte.

■ Caractérisation du niveau de couplage entre cultures et élevage

A partir des critères communs aux trois bases de données, nous avons cherché ceux qui permettaient d'aborder les différentes dimensions proposées par RASAMBATRA (2015) (« l'utilisation des surfaces pour l'alimentation animale », « l'autonomie alimentaire et de paillage » et « l'autonomie de fertilisation ») pour caractériser le couplage entre cultures et élevage (tableau 2). Nous avons parfois dû choisir un indicateur « sub-optimal » car disponible dans toutes les bases au lieu d'un indicateur optimal présent uniquement dans une seule base. Par exemple nous avons retenu les euros dépensés pour l'achat d'engrais (sensible aux fluctuations des prix) plutôt que les kilos d'engrais achetés. Au final, ce sont **10 critères, communs aux trois bases, qui traduisent les dimensions du couplage au sein de l'exploitation** (tableau 2).

Pour chaque critère, nous avons établi une hypothèse sur son lien au couplage : les critères d'autonomie (pourcentage de surface dédiée à l'alimentation animale, autonomie en concentrés, part de protéagineux dans les surfaces non fourragères) vont dans le sens d'un fort couplage cultures - élevage alors que les critères de dépendance (sommés dépensés, fréquence d'achat de paille) vont dans le sens d'un faible couplage. La part de maïs dans la SFP est considérée comme allant dans le sens d'un faible couplage car le maïs fourrage est souvent lié à des utilisations plus importantes d'intrants et lié à des objectifs de production à l'animal plus élevés. Si l'on suit ces hypothèses, une exploitation totalement couplée se caractériserait par des surfaces toutes en lien avec les animaux, y compris les cultures non fourragères et les surfaces cultivées en interculture, sans maïs, sans achat d'intrants de fertilisation, de paille, de concentrés et de fourrages. Cette exploitation serait qualifiée dans les OTEX comme spécialisée élevage puisque tous les produits végétaux sont intraconsommés, mais reste bien dans le cadre de la définition fonctionnelle de la polyculture - élevage.

Afin d'analyser la variabilité de l'échantillon sur ces 10 critères pris conjointement, nous avons réalisé une analyse en composantes principales (ACP) sur les 1 190 exploitations. Chaque axe issu de l'ACP a un pourcentage d'inertie expliqué (P) et peut-être relié au couplage

Abréviation	Variable	Min	Moyenne	Max	Ecart-type	Optimum de couplage*
Utilisation des surfaces pour les animaux						
AAiSAU	% de la SAU dédiée à l'alimentation animale (y compris les surfaces d'intercultures)	0,4	81,7	140,4	24,4	Max
MiSFP	% de maïs dans la SFP	0	12,5	100	16,1	Min
AAiC	% des cultures non fourragères dédiées à l'alimentation animale (y compris les surfaces stockées mobilisées pour l'intra-consommation)	0	44,6	152,5	35,6	Max
SICpAA	Surface d'interculture dédiée à l'alimentation animale (/ SAU)	0	2,3	41,5	4,6	Max
Autonomie alimentaire et en litière du troupeau						
Aconc	Autonomie en concentrés	0	38,8	100	27,7	Max
Achat_FpUGB	Somme dépensée par UGB pour l'achat de fourrage	0	23,9	536	46,8	Min
FreqApaille	Nombre d'années avec achat de paille	0	1,718	3	1,288	Min
Autonomie en fertilisation azotée des végétaux						
AEngpSC	Somme dépensée par hectare pour la fertilisation sur les surfaces cultivées	0	137,4	744	91	Min
AEngpSH	Somme dépensée par hectare pour la fertilisation sur les surfaces en herbe	0	67,5	284,4	50,4	Min
ProtisNF	Part de protéagineux dans les surfaces non fourragères	0	1,3	61,2	4,3	Max

* La dernière colonne indique le sens de la relation entre l'indicateur et le niveau de couplage : Max pour une corrélation positive (plus la valeur est élevée, plus le couplage est fort) et Min pour une corrélation négative (plus la valeur est faible plus le couplage est fort)

TABLEAU 2 : Les 10 variables retenues pour la caractérisation du couplage cultures-élevage et valeurs observées dans l'échantillon.

TABLE 2 : The 10 variables used to characterise couplage on mixed crop-livestock farms and the resulting descriptive statistics.

cultures - élevage. Ainsi, à partir des corrélations des variables avec les axes et des hypothèses sur le lien entre les variables et le couplage (tableau 2), nous avons défini **trois types de relations entre les axes et le couplage** (r) : une corrélation positive (une valeur élevée positive sur cet axe correspond à un fort couplage), une corrélation négative (une valeur élevée positive correspond à un faible couplage, traduite en équation mathématique par un '-'), une relation complexe où les valeurs extrêmes (positives ou négatives) sont en lien avec un couplage faible (traduite en équation mathématique par un '- valeur absolue'). Nous avons ensuite construit **un score de couplage pour chaque exploitation** afin de résumer l'information de tous les axes en une seule valeur. Pour cela nous sommes partis des coordonnées (c) de la projection sur chaque axe de l'exploitation considérée (Ex), et du poids de chaque axe dans l'inertie totale.

Score de couplage_{Ex} = $P_{al} \times r_{al} \times c_{alEx} + \dots + P_{an} \times r_{an} \times c_{anEx}$

où P_{al} est le pourcentage d'inertie expliqué par l'axe 1, r_{al} est le type de relation de l'axe 1 avec le couplage culture-élevage et c_{alEx} est la coordonnée de l'exploitation Ex sur

l'axe 1, ceci pour les « n » axes d'intérêt de l'ACP. Un score élevé correspond à un couplage fort entre cultures et élevage.

A partir de l'ensemble des scores, nous avons calculé **des seuils afin de répartir les exploitations en 3 classes** selon les proportions suivantes : 30 % de faiblement et de fortement couplées, 40 % de moyennement couplées.

■ Evaluation environnementale et économique

L'évaluation des performances des exploitations a porté sur 2 dimensions de la durabilité : l'environnement et l'économie. Pour ce faire, les indicateurs retenus sont facilement accessibles dans les bases de données, sont complémentaires et facilement compréhensibles par des conseillers agricoles et des agriculteurs (tableau 3). L'analyse porte sur 876 exploitations conventionnelles et 61 en AB avec des bovins, issues de la base de données Inosys (tableau 1).

Indicateur	Intitulé	Impact estimé	Performance élevée si :	Gamme de variation
Environnement				
Bilan N	Bilan des entrées et sorties d'azote (hors fixation d'azote atmosphérique)	Fuites d'azote dans le milieu	Faible	-33 à +413 kg N/ha
Fioul	Consommation de fioul	Emissions directes de CO ₂	Faible	0 à +501 l/ha
Pesticides	Charges en pesticides des surfaces en cultures	Diffusion des produits phytosanitaires	Faible	0 à +720 €/ha
Economie				
RC/UMOe	Résultat courant par unité de main d'œuvre exploitant	Rémunération de l'exploitant	Elevé	-32 à +118 k€/UMOe
EBE/PB	% de l'excédent brut d'exploitation dans le produit brut	Efficacité économique	Elevé	5 à 71%
CO/PB	% des charges opérationnelles dans le produit brut	Maîtrise des « intrants »	Faible	11 à 70%
Aides/EBE	% des aides dans le produit brut	Dépendance de la ferme aux aides	Faible	7 à 491%

TABLEAU 3 : Les indicateurs environnementaux et économiques retenus.

TABLE 3 : Descriptors of environmental and economic performance.

Filère	Bovin Lait		Bovin Viande		Toutes filières	
	Conv.	AB	Conv.	AB	Conv.	AB
CEH	81	10	99	7	244	19
PCEH	120	17	90	6	333	33
PCEV	97	5	96	2	244	9
PCEC	8	0	20	0	55	0
Total par filière	306	32	305	15	876	61

* PCE : polyculture - élevage conventionnelle (Conv.) ou biologique (AB)
 CEH : < 10% de Surfaces Non Fourragères (SNF) dans la SAU
 PCEH : de 10 à 33% de SNF et < 40 ha de SNF
 PCEC : > 66% de SNF ; PCEV : les autres exploitations

TABEAU 4 : Répartition des fermes de l'échantillon Inosys par filière et par type de polyculture - élevage.

TABLE 4 : Distribution of study farms (Inosys database) by industry and mixed crop-livestock type.

■ Facteurs pris en compte dans l'analyse des performances environnementales et économiques des exploitations

En plus du niveau de couplage, du mode d'agriculture (conventionnel et biologique), du système de production (en se focalisant sur les deux systèmes aux effectifs les plus nombreux, *i.e.* Bovin lait et Bovin viande) et de la localisation de l'exploitation, disponibles directement dans la base de données Inosys, nous avons classé les exploitations selon la part des surfaces non fourragères (SNF) afin de mieux prendre en compte un effet éventuel de la « structure de l'exploitation » (tableau 4). Nous avons ainsi proposé, en nous inspirant de la typologie Inosys (APCA, 2012), **4 « types » de polyculture - élevage selon la part des surfaces non fourragères dans l'assolement :**

- Le type Culture-Elevage Herbager (CEH) qui a moins de 10 % SNF (n=244 et 19 en AB). Ces systèmes sont qualifiés de « spécialisés » en ruminants. Les SNF sont à 90 % des céréales dont plus des deux tiers sont intraconsommées.

- Le type Polyculture-Elevage Herbager (PCEH) avec 10-33 % de SNF et < 40 ha de SNF (n=333 et 33 en AB). Ce sont aussi des systèmes « spécialisés » en ruminants, mais ils cultivent en moyenne 19 % de SNF dont la moitié est intraconsommée.

- Le type Polyculture-Elevage « Vraie » au sens de la base Inosys (PCEV) avec 33-66 % SNF ou < 33 % SNF ET > 40 ha SNF (n=244 et 9 en AB). Ces exploitations sont souvent celles qui sont retrouvées dans l'OTEX polyculture - polyélevage.

- Le type Polyculture-Elevage orienté Cultures (PCEC) : > 66 % SNF (n=55 et 0 en AB). Ces systèmes ont une dominance en cultures et l'atelier de production animale est en général de taille plus modeste.

■ Analyse des performances

Pour évaluer les effets des différents facteurs nous avons normé les performances des fermes par rapport à la valeur optimale observée dans l'échantillon Inosys : le maximum ou le minimum observé selon le sens de la relation

(tableau 2). Pour chaque indicateur de performance nous avons réalisé un modèle linéaire avec 4 facteurs explicatifs : la filière (BL, BV, autres), le type de polyculture - élevage (CEH, PCEH, PCEV, PCEC), le type d'agriculture (conventionnelle ou biologique) et le niveau de couplage (faible, moyen, fort). Nous avons également ajouté la région d'appartenance de l'exploitation en facteur aléatoire (7 classes). Pour visualiser les effets nous avons réalisé des graphiques en radar où la valeur 1 est la moyenne de l'écart à l'optimum des exploitations conventionnelles. Les valeurs inférieures à 1 sont plus performantes que la moyenne (écart à l'optimum inférieur à la moyenne) alors que les valeurs supérieures à 1 sont moins performantes que la moyenne.

3. Résultats

■ Calcul de l'indicateur synthétique de couplage cultures - élevage sur l'ensemble des exploitations

LACP fait ressortir 3 axes qui expliquent respectivement 27,9, 17,9 et 11,9 % de l'inertie des 1 190 exploitations. Le premier établit un gradient allant de fermes avec une faible part de leur surface agricole dédiée à l'alimentation animale et beaucoup d'achats d'engrais pour les surfaces en herbe, à des exploitations ayant une part importante de leur surface agricole consacrée à l'alimentation animale et peu d'achats d'engrais pour les surfaces herbagères. Cet axe est positivement corrélé à la notion de couplage entre cultures et élevage (signe +). Les fermes ayant une valeur élevée sur le deuxième axe ont une autonomie en concentrés faible, de fréquents achats de paille et une large part de leur SFP dédiée au maïs, ce qui signifie que cet axe est négativement corrélé à la notion de couplage entre cultures et élevage (signe -). Sur le troisième axe, une valeur élevée correspond à de faibles achats de fourrages par UGB (positif pour le couplage) et peu de surfaces de protéagineux dans les cultures (négatif pour le couplage). Cet axe relève donc d'interactions complexes avec le couplage.

En prenant comme coefficient de pondération des axes le degré d'inertie de l'axe divisé par le degré d'inertie de l'axe 3, nous obtenons, pour calculer le score de couplage des exploitations, la formule suivante :

$$\text{Score} = 2,358 c_{\text{axe1}} - 1,508 c_{\text{axe2}} - |c_{\text{axe3}}|$$

Le score calculé sur les 1 190 exploitations varie entre - 23,23 et + 7,96 avec une moyenne de - 0,78 et un écart-type de 4,47.

Les seuils permettant de faire une répartition en 3 classes représentant respectivement 30, 40 et 30 % des effectifs sont de - 2,76 et + 2,14. Le tableau 5 présente la répartition des fermes selon la classe de couplage et la filière animale majoritaire de la ferme. Quelle que soit la filière animale, le score maximum se situe entre 6 et 8. Ces valeurs proches signifient qu'un **couplage fort**, basé sur

	Bovin Lait	Bovin Viande	Ovin Viande	Ovin Lait	Caprin Lait	Total
Couplage Faible	204 (0)	91 (0)	26 (0)	9 (1)	27 (0)	314 (1)
Couplage Moyen	141 (12)	195 (2)	94 (2)	16 (1)	30 (0)	416 (17)
Couplage Fort	100 (63)	149 (28)	78 (3)	15 (2)	15 (5)	271 (101)
Total filières	445 (75)	435 (30)	198 (5)	40 (4)	72 (5)	1190 (119)
Score couplage max	6,93	7,96	7,2	6,04	7,03	7,96
Score couplage min	-15,2	-23,2	-7,3	-7,2	-17,4	-23,23
Score moyen :						
- agriculture conventionnelle	-3,53	-0,34	0,86	0	-2,14	-1,33
- agriculture biologique	3,88	5,16	1,42	2,72	5,92	4,16

TABLEAU 5 : Répartition des exploitations selon la classe de couplage et la filière animale majoritaire de l'exploitation (nombre total dont (exploitations biologiques)).

TABLE 5 : Distribution of study farms by degree of couplage and main livestock type (total farms, with organic farms in brackets).

nos 10 critères, **est possible dans les 5 productions animales. Les exploitations en AB se trouvent majoritairement (85 %) en couplage fort** ; il n'y en a qu'une seule faiblement couplée et 17 (14 %) en couplage moyen. En moyenne, les exploitations AB sont « plus couplées » que les exploitations conventionnelles, les scores maximaux atteints étant en revanche assez proches.

Le tableau 6 présente les valeurs des 10 critères pour les 3 niveaux de couplage, toutes filières et modes de production confondus. Le couplage moyen est toujours intermédiaire entre les couplages faible et fort. Le couplage fort est bien celui qui a les valeurs les plus proches de l'optimum défini dans la partie Matériels et méthodes. Il a **la plus forte autonomie alimentaire, le moins d'achat de fertilisants et dédie le plus de ses surfaces** (fourragères ou non) à l'alimentation des animaux.

■ Evaluation des performances des exploitations de l'échantillon Inosys

Le tableau 7 présente les résultats des analyses statistiques et la figure 1 représente les moyennes des 7 indicateurs selon les 4 facteurs testés. Dans tous les modèles, l'effet aléatoire Région est significatif ; le modèle mixte permet ainsi d'améliorer l'évaluation des effets des 4 autres facteurs explicatifs. Aucune interaction entre ces facteurs n'a été retenue *via* la sélection de modèles sur la base du critère d'information bayésien (BIC).

Indicateur	Couplage		
	Faible	Moyen	Fort
AAiSAU (%)	65,16	83,69	95,71
MiSFP (%)	28,38	7,87	2,87
AAiC (%)	15,26	41,81	76,19
Aconc (%)	18,69	38,38	59,46
SICpAA (%)	4,27	1,77	1,08
Achat_FpUGB (€/UGB)	33,66	20,68	18,27
FreqApaille	1,48	1,72	1,95
AEngpSC (€/ha)	177	145,2	87,5
AEngpSH (€/ha)	113,7	60,8	30,4
ProtiSNF (%)	1	0,84	2,22

TABLEAU 6 : Valeur moyenne des critères de couplage selon le niveau de couplage des exploitations (abréviations : cf. tableau 1).

TABLE 6 : Mean values of couplage criteria according to degree of couplage (abbreviations: see table 1).

Sur le plan environnemental, le niveau de couplage de l'exploitation agit significativement sur les 3 indicateurs sélectionnés (Bilan N, Fioul, Pesticides) : **plus le couplage est élevé, plus les performances sont bonnes. L'agriculture biologique améliore significativement le bilan azoté des exploitations et les charges phytosanitaires des cultures.** Les exploitations de bovins viande sont significativement plus performantes que les exploitations de bovins lait pour le bilan azoté et la consommation de fioul mais ont plus de dépenses phytosanitaires par hectare sur les cultures. Plus la part de cultures non fourragères augmente dans les exploitations de polyculture - élevage, plus les charges phytosanitaires par hectare de culture augmentent. La consommation de fioul augmente également

Sur le plan économique, l'augmentation du couplage cultures - élevage améliore les indicateurs d'efficacité (EBE/Produit brut) et de maîtrise des intrants (charges opérationnelles/produit brut). Ces effets se cumulent avec celui du type d'agriculture, **les exploitations en AB ayant aussi de meilleures performances pour ces critères** que les exploitations conventionnelles. Le revenu courant par unité de main d'œuvre n'est sensible qu'au type de polyculture - élevage et augmente avec la part de culture. La part d'aides sur l'EBE est sensible à la filière (les laitiers étant moins dépendants que les allaitants) et à la part de cultures (les deux types avec plus de cultures sont moins dépendants des aides que les deux types basés sur l'herbe).

Discussion

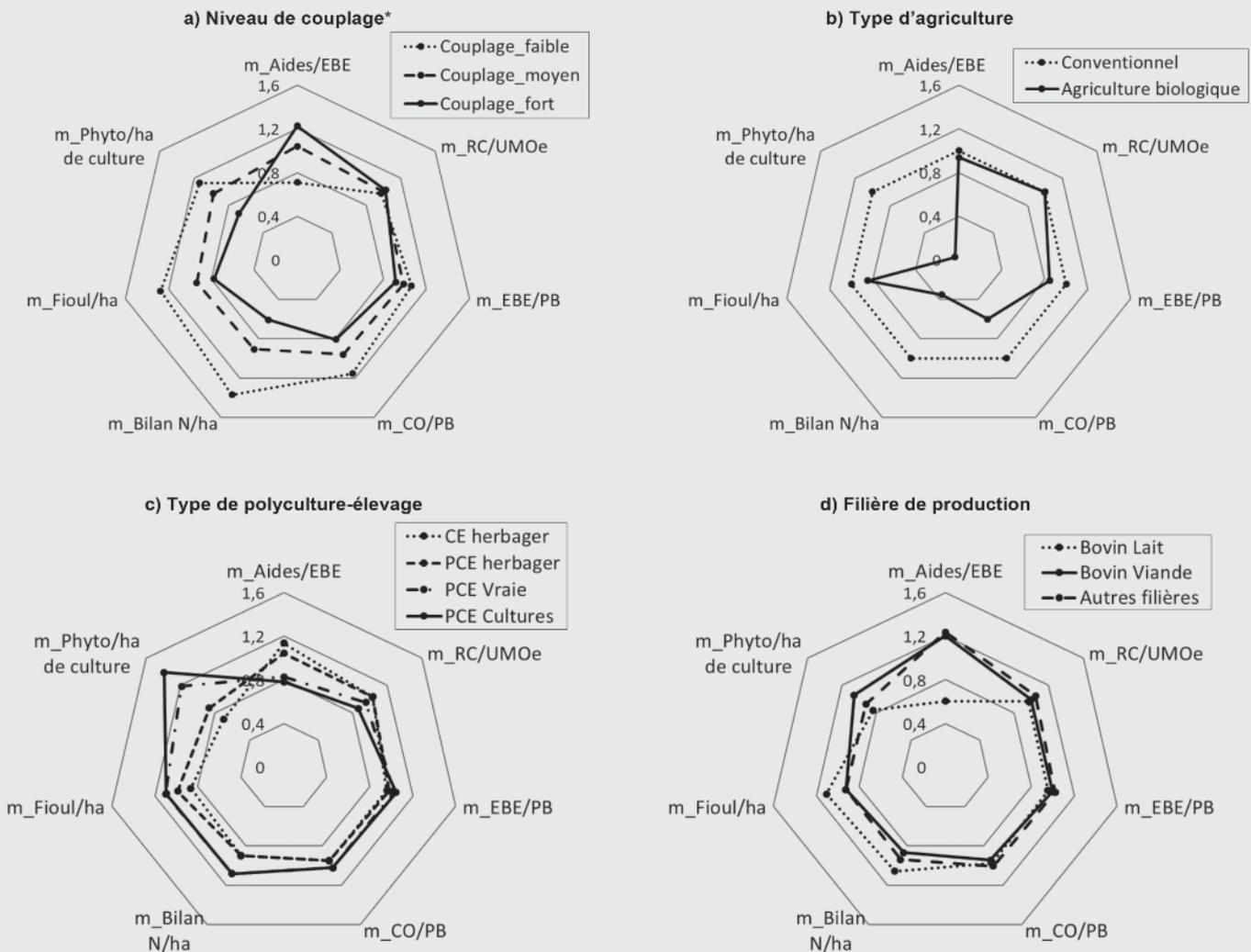
La méthode utilisée et les résultats présentés se basent sur des données de réseaux d'élevage herbivores, qui ont une entrée prioritaire sur l'élevage et moins en grandes cultures. Les résultats s'appliquent à des exploitations ayant des surfaces en prairies associant une plus ou moins grande part de cultures. Des travaux complémentaires seraient à conduire pour caractériser et analyser le couplage dans des fermes ayant des monogastriques plutôt que des ruminants. De même, nous avons fait le choix d'explorer la variabilité des performances environnementales et économiques selon le niveau de couplage entre ateliers animal et végétal dans des exploitations afin de mettre à l'épreuve les atouts théoriques de ces interactions (HENDRICKSON *et al.*, 2008a ; TITTONELL, 2013). Enfin, nous avons

Indicateur	Niveau de couplage	Type d'agriculture*	Type PCE	Filière (BL vs BV)	R ² du modèle
Environnemental :					
- Bilan N	Faible > Moyen > Fort	Conv. > AB	n.s.	BL > BV	0,43
- Fioul	Faible > Moyen > Fort	n.s.	PCE C et PCE V > PCE H > CE H	BL > BV	0,19
- Pesticides	Faible > Moyen > Fort	Conv. > AB	PCE C > PCE V > PCE H > CE H	BV > BL	0,34
Economique :					
- RC/UMOe	n.s.	n.s.	CE H et PCE H > PCE V > PCE C	n.s.	0,16
- EBE/PB	Faible > Moyen > Fort	Conv. > AB	n.s.	n.s.	0,17
- CO/PB	Faible > Moyen > Fort	Conv. > AB	n.s.	n.s.	0,27
- Aides/EBE	n.s.	n.s.	CE H et PCE H > PCE V et PCE C	BV > BL	0,46

TABLEAU 7 : Effets statistiques de 4 facteurs explicatifs pour 7 indicateurs de performances.

TABLE 7 : Statistics for the 4 explanatory factors related to the 7 performance indicators .

* Conv. / AB : agriculture conventionnelle / biologique. Pour chaque indicateur considéré, les valeurs les plus faibles représentent de meilleures performances. Par ex. pour le revenu courant par unité de main d'œuvre exploitant, les exploitations CE herbager et PCE herbager ont de moins bons revenus que les exploitations PCE V, elles-mêmes ayant de moins bons revenus que les exploitations PCE C. Les autres facteurs n'ont pas d'effet significatif (n.s. = non significatif)



* La valeur 1 est la valeur moyenne des exploitations conventionnelles. Les valeurs inférieures à 1 indiquent de meilleures performances que la moyenne.

FIGURE 1 : Moyenne des 7 indicateurs de performances pour les différentes modalités des 4 facteurs testés.

FIGURE 1 : Mean of the 7 performance indicators for the different levels of the 4 factors tested .

caractérisé les systèmes de polyculture - élevage sur la base du couplage entre cultures et élevage mais d'autres dimensions caractérisent aussi ces systèmes (diversité des productions, complémentarité entre fermes...) et peuvent jouer sur leurs performances économiques et environnementales (PERROT *et al.*, 2013).

■ Méthode de classement et répartition des exploitations dans les différents niveaux de couplage

La méthode utilisée pour évaluer le couplage entre cultures et élevage a pour objectif d'évaluer l'adéquation entre surfaces agricoles et troupeaux sans prendre en compte les pratiques usuelles ou spécifiques de certaines productions. Ce choix induit que certains systèmes atteindront plus difficilement un score de couplage élevé. Ainsi, les exploitations Bovin allaitant sont plus fréquemment fortement couplées que celles en Bovin lait, notamment du fait d'une utilisation plus importante des surfaces pour l'alimentation des animaux, en particulier l'herbe (IDELE, 2012). L'usage plus important de l'herbe dépend parfois de contextes pédoclimatiques particuliers : dans la base Charolais, les exploitations ont souvent plus de surfaces non labourables. A l'inverse, les systèmes allaitants peuvent présenter aussi des niveaux de couplage parmi les plus faibles. Cette étude montre aussi qu'**aucune production animale n'est incompatible avec la mise en œuvre d'un couplage fort entre cultures et élevages.**

Le couplage des exploitations en AB est plus fort que celui des exploitations en agriculture conventionnelle, comme attendu en raison de leur mode de fonctionnement. Celui-ci impose de fait la maximisation de l'utilisation des ressources internes à la ferme en raison du cahier des charges AB qui interdit le recours aux pesticides et engrais de synthèse et du coût élevé d'achat des intrants et aliments autorisés en AB. Néanmoins, même si le fait d'être en agriculture biologique incite à mettre en œuvre un couplage élevé, une exploitation AB faiblement couplée a été identifiée, à cause d'achats importants de fourrages par UGB ainsi qu'une autonomie en concentrés de moins de 40 %. Cela traduit la **grande diversité des pratiques aussi bien en agriculture conventionnelle que biologique** (PUECH *et al.*, 2013).

Les 10 critères choisis permettent d'explorer plus de dimensions du couplage entre élevage et cultures que les 5 critères proposés au sein du projet CANTogether (CHAMBAUT *et al.*, 2015) tout en étant accessibles au sein des bases de données. Néanmoins, ce travail passe sous silence d'autres types d'interactions, faute de données facilement accessibles. Ce sont par exemple les dimensions « travail » (les travailleurs sont-ils spécialisés ou polyvalents sur les ateliers cultures et élevage ?) et « matériel » (les tracteurs servent-ils tous au soin des animaux et aux travaux des champs ?) ou à la combinaison des deux (quel travail est délégué à des entreprises extérieures ?, quels matériels sont utilisés en CUMA ?). De même, les échanges entre exploitations voisines (paille contre fumier) n'ont pas été pris en compte.

■ Des performances environnementales améliorées par le couplage cultures - élevage

VEYSSET *et al.* (2014) et RYSCHAWY *et al.* (2012) ont montré que les exploitations en polyculture - élevage n'ont, en moyenne, pas de meilleurs résultats environnementaux que les spécialisées. Dans notre étude, au sein des exploitations de polyculture - élevage, nous identifions un effet positif important du couplage sur le bilan azoté des exploitations, visible dans toutes les filières animales et quel que soit le type d'association culture - élevage tel que défini par le pourcentage des SNF. Cette différence de résultats peut être liée à la façon dont a été faite la catégorisation des exploitations entre couplées et non couplées. Dans le travail de VEYSSET *et al.* (2014), les exploitations mixtes sont celles qui vendent des produits végétaux et animaux, sans regarder la complémentarité entre ces ateliers ; elles pourraient s'apparenter aux exploitations PCE-C de notre étude, exploitations qui présentent le plus faible score de couplage. L'entrée économique était aussi celle privilégiée par RYSCHAWY *et al.* (2012), même si elle intégrait à la fois la possibilité de vendre les produits végétaux ou de les utiliser pour l'alimentation animale. Nos résultats rejoignent ceux de SNEESSENS *et al.* (2016) qui trouvent, par modélisation, une **amélioration du bilan azoté quand ils autorisent les échanges entre les ateliers cultures et élevage** ou ceux de ALIG et MISCHLER (2015) sur l'amélioration du bilan azoté des exploitations avec l'augmentation de l'autonomie des exploitations.

Plusieurs facteurs jouent sur le bilan azoté hors fixation symbiotique des exploitations : les intrants alimentaires, les intrants de fertilisation, l'efficacité de la fertilisation, les rendements des cultures et des animaux, les rotations des cultures... (PEYRAUD *et al.*, 2012). Il est donc difficile d'expliquer ce phénomène sans avoir plus de données sur les exploitations, mais nous pouvons penser que les mécanismes impliqués dans la réduction du bilan azoté dans les exploitations en AB sont, au moins partiellement, différents de ceux mis en œuvre par le couplage puisque leurs effets s'additionnent. De même, nos résultats sur les performances des filières bovin lait et viande rejoignent ceux de CHAMBAUT *et al.* (2011) qui montraient des bilans azotés plus élevés dans les exploitations laitières que dans les exploitations allaitantes. Si le couplage croissant réduit les excédents d'azote, il est possible d'améliorer encore cet indicateur par une meilleure prise en compte à la fois de la valeur fertilisante des effluents et de l'objectif de rendement, dans le calcul de la dose d'azote minéral à apporter.

Concernant la diminution de l'utilisation d'énergie fossile avec l'augmentation du niveau de couplage, un facteur explicatif réside dans les **charges en matériel**, bien plus élevées dans les systèmes peu couplés (579 €/ha contre 439 et 379 €/ha pour les systèmes moyennement et fortement couplés respectivement). L'augmentation de la consommation de fioul par hectare observée avec l'augmentation de la part cultivée dans les exploitations est à rapprocher de l'étude AGRESTE (2009) qui montrait que la part des dépenses énergétiques dans les exploitations de grandes cultures est plus importante que celle des exploitations d'élevage.

Enfin, l'effet sur les **charges phytosanitaires** des cultures est plus faible que pour le bilan azoté, mais la **baisse globale** est tout de même de **32 %** (de 127 à 86 €/ha pour les faiblement et fortement couplés respectivement). Cette valeur est à positionner par rapport à l'objectif initial du dispositif ECOPHYTO, qui était initialement de « réduire l'usage des phytosanitaires de 50 %, si possible » (GUICHARD *et al.*, 2017). L'accroissement du couplage apparaît alors comme un levier complémentaire aux leviers agronomiques qui permettent de réduire la pression en maladies, ravageurs et adventices (variétés moins sensibles aux maladies, densités de semis, successions de cultures avec une diversité de cultures et de périodes de semis...) (MISCHLER *et al.*, 2009). De même, nos résultats montrent que plus la part de cultures est importante dans l'exploitation, plus ses charges de phytosanitaires par hectare sont importantes. Pour les systèmes les plus herbagers, il est probable qu'en raison des faibles surfaces de cultures, la gestion des pesticides ne soit pas prioritaire, comme semble l'indiquer le niveau des charges de travaux par tiers pour les cultures, supérieur aux autres types (MISCHLER, résultats non publiés). Dans les systèmes avec beaucoup de cultures, l'importance des charges phytosanitaires par hectare peut être liée à une forte attente de la productivité des cultures. Enfin, il n'est pas possible dans cette étude de comparer l'usage des phytosanitaires selon la destination des produits végétaux (intra consommation / vente), mais CHARTIER *et al.* (2015) montrent que les cultures intra-consommées mobilisent moins de pesticides, tout comme ALIG et MISCHLER (2015) qui indiquent que les systèmes plus autonomes diminuent l'usage des phytosanitaires.

Les systèmes AB apportent un gain supplémentaire dans les performances environnementales, ce qui est concordant avec la synthèse de GOMIERO *et al.* (2011). L'effet observé sur le bilan azoté s'explique par l'interdiction d'utilisation des engrais de synthèse alors que l'effet drastique observé sur les charges phytosanitaires est lié à l'interdiction d'utilisation de ces produits. Nos résultats ne montrent pas d'effet de ce mode de production sur la consommation de fioul. Dans leur synthèse, GOMIERO *et al.* (2011) montrent pourtant qu'une majorité d'études identifie une amélioration de l'efficacité de l'énergie dans les systèmes en agriculture biologique : nous n'avons pas pu prendre en compte l'énergie globalement utilisée, celle des intrants notamment, et nous n'avons donc regardé que l'énergie directe consommée sous forme de carburants et lubrifiants liée à l'équipement en matériels.

■ Des performances économiques maintenues

La majorité des travaux disponibles sur les performances économiques des exploitations de polyculture-élevage compare des systèmes spécialisés avec des systèmes mixtes sans qualifier le niveau d'intégration entre les ateliers (HILMIRE, 2011 ; MANJUNATHA *et al.*, 2014 ; SULC et TRACY, 2007). Ces travaux montrent un gain de productivité à l'hectare et donc une augmentation du produit brut grâce à l'ajout d'un atelier animal au sein d'exploitations de

grandes cultures. Dans notre étude, toutes les fermes ont les deux types d'atelier mais c'est l'intensité des flux entre eux qui est variable. Dans le travail de modélisation de SNEESSENS *et al.* (2016), les auteurs ont montré que le passage de systèmes de polyculture - élevage découplés à des systèmes avec couplage permettait d'améliorer le revenu par UMO sans effet notable sur l'EBE, ni sur les aides. Ils ont aussi identifié un effet plus marqué dans les systèmes avec moins de 20 % de cultures par rapport à ceux en ayant plus de 80 %. Nos résultats diffèrent donc de ceux modélisés par ces auteurs puisque nous n'observons pas d'effet du niveau de couplage sur le revenu courant par UMO exploitant et constatons une amélioration de ce revenu pour les exploitations avec une forte proportion de cultures non fourragères. La différence peut provenir du fait que nous analysons un ensemble hétérogène d'exploitations, dans des contextes de potentiels agronomiques variés, alors que SNEESSENS *et al.* (2016) modélisent des exploitations de taille similaire. Il serait aussi intéressant de regarder si les résultats courants par UMO exploitant sont similaires entre des niveaux de couplage différents quelle que soit l'année ou bien si c'est l'utilisation de données moyennées sur trois ans qui permet d'arriver à ce résultat. Cette analyse permettrait de tester la sensibilité des différentes formes de PCE aux variations des prix, les systèmes intégrés étant réputés plus résistants (RYSCHAWY *et al.*, 2012).

Notre résultat sur la diminution des charges opérationnelles avec l'augmentation du niveau de couplage est en accord avec les résultats du Réseau CIVAM (FNCIVAM, 2009) sur les performances des exploitations autonomes. Ce résultat est à mettre en lien avec la réduction des intrants (alimentaires et de fertilisation) mais peut aussi avoir un lien avec les frais de mécanisation, les systèmes couplés pouvant sûrement mieux valoriser leurs matériels comme le suggèrent PERROT *et al.* (2013). La dépendance aux aides ne semble pas liée au niveau de couplage mais plus à la surface des cultures non fourragères dans l'exploitation et au type de production. La dépendance aux aides est à la fois en lien avec les aides du premier pilier (les exploitations allaitantes sont plus dépendantes aux aides que les exploitations laitières) et avec les aides du second pilier (les productions les plus herbagères sont moins performantes sur ce critère que les exploitations avec des cultures non fourragères) (DIEULOT et FALAISE, 2015).

Nos résultats ne montrent pas, pour un éleveur d'herbivores, d'avantage économique à opter pour une gestion couplée de ses ateliers cultures et élevage. Mais, il n'y a pas non plus de perte. Il faudra donc explorer d'autres dimensions (variabilité des revenus, travail, techniques, réseaux professionnels, formation...) pour comprendre pourquoi les grandes exploitations de polyculture - élevage ne couplent pas mieux leurs ateliers et préfèrent jouer la stratégie des économies d'échelle (PERROT *et al.*, 2013 ; VEYSSET *et al.*, 2014). **Vu les avantages environnementaux du couplage, une rémunération de ces services pourrait inciter les éleveurs à en adopter les pratiques.**

Enfin, l'effet du mode d'agriculture est similaire à l'effet du couplage sur les performances économiques **sans améliorer le résultat courant par UMO exploitant**. Nos

résultats sont donc moins encourageants que ceux d'OFFERMANN et NIEBERG en 2000 qui trouvaient un effet positif de l'AB sur les revenus familiaux même si les revenus par hectare étaient plus faibles qu'en agriculture conventionnelle.

Conclusions

Notre proposition de qualification du niveau de couplage entre cultures et élevage dans les exploitations, à partir de 10 critères disponibles dans les bases de données de réseaux d'élevage, a permis de mettre en évidence dans les fermes commerciales des différences de performances environnementales selon le niveau de couplage. Cette méthode discrimine les exploitations « couplées » des exploitations « non couplées » bien que certains aspects du couplage n'aient pu être pris en compte faute de données. De plus, le couplage n'est pas lié à une dégradation des performances économiques. Les exploitations les plus couplées sont aussi celles qui ont les meilleures efficacités économiques et les meilleures économies de charges opérationnelles. Ces résultats se retrouvent dans toutes les filières de ruminants même si certaines sont plus sensibles que d'autres, notamment sur les aspects économiques. Pour compléter ces travaux, une exploration du couplage dans les filières porcines et avicoles serait à réaliser. Le niveau de couplage des systèmes en agriculture biologique est en moyenne plus élevé par nécessité afin de compenser l'absence de produits chimiques de synthèse. Malgré tout, le niveau de couplage agit nettement sur les performances environnementales des fermes en AB, leurs effets étant donc cumulatifs. Investir le champ des questions permettant de passer d'un système de polyculture - élevage peu couplé à un système fortement couplé semble donc pertinent pour le développement durable de l'agriculture.

Accepté pour publication,
le 15 septembre 2017

Financement : Le projet innovation et partenariat RED-SPyCE est financé par le CASDAR.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGRESTE (2009) : «La consommation d'énergie directe des exploitations agricoles», *Agreste Primeur*, n°224.
- AGRESTE (2011) : «Les productions se concentrent dans les exploitations spécialisées», *Agreste Primeur*, n°272.
- ALIG M., MISCHLER P. (2015) : *Synthesis of environmental impacts of mixed versus specialized farms* (deliverable Cantogather project D2.6).
- PCA (2012) : «Regards sur la diversité de l'agriculture française», *Rev. Chamb. Agric.*, 11-31.
- BELL L.W., MOORE A.D. (2012) : «Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications», *Agric. Syst.*, 111, 1-12.
- BUREAU J.C. (2007) : *La politique agricole commune*, Collection Repères. La Découverte, Paris (FRA).
- CHAMBAUT H., MOUSSEL E., PAVIE J., COUTARD J.P., GALISSON B., FIORELLI J.L., LEROYER J. (2011) : «Profils environnementaux des exploitations d'élevage bovins lait et viande en agriculture biologique et conventionnelle: enseignements du projet CedABio», *Rencontres Rech. Ruminants*, 18, 53-56.
- CHAMBAUT H., FIORELLI J.L., ESPAGNOL S., FORAY S., MAIGNAN S., LETERME P. (2015) : «Valoriser la complémentarité entre les cultures et l'élevage dans l'exploitation agricole pour améliorer l'efficacité environnementale», *Renc. Rech. Ruminants*, Institut de l'Élevage, Paris, 22, 61-64.
- CHARTIER N., TRESCH P., MUNIER-JOLAIN N., MISCHLER P. (2015) : «Utilisation des Produits Phytosanitaires dans les systèmes de Polyculture-élevage et de Grandes Cultures : analyse des données du réseau DEPHY ECOPHYTO», *Rencontres Rech. Ruminants*, 22, 57-60.
- CHATELLIER V., GUYOMARD H. (2008) : «Le bilan de santé de la PAC, le découplage et l'élevage en zones difficiles», *Recherches en économie et sociologie rurales*, INRA, n°6, 1-8.
- DIEULOT R., FALAISE D. (2015) : *Résultats de l'observatoire technico-économique bovin-lait du réseau agriculture durable?: Synthèse 2015 - Exercice comptable 2014*, Les essentiels du Réseau Agriculture Durable.
- FNCIVAM (2009) : *Produire autonome et économe : un enjeu décisif en production laitière*, 28 p.
- GOMIERO T., PIMENTEL D., PAOLETTI M.G. (2011) : «Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture», *Crit. Rev. Plant Sci.*, 30, 95-124.
- GUICHARD L., DEDIEU F., JEUFFROY M.H., MEYNARD J.M., REAU R., SAVINI I. (2017) : «Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France : décryptage d'un échec et raisons d'espérer», *Cah. Agric.*, 26, 14002.
- HENDRICKSON J.R., LIEBIG M.A., SASSENATH G.F. (2008a) : «Environment and integrated agricultural systems», *Renew. Agric. Food Syst.*, 23, 304-313.
- HENDRICKSON J., SASSENATH G.F., ARCHER D., HANSON J., HALLORAN J. (2008b) : «Interactions in integrated US agricultural systems: The past, present and future», *Renew. Agric. Food Syst.*, 23, 314-324.
- HILIMIRE K. (2011) : «Integrated Crop/Livestock Agriculture in the United States: A Review», *J. Sustain. Agric.*, 35, 376-393.
- IDELE (2012) : *Alimentation des bovins?: rations moyennes et autonomie alimentaire*, Collection Résultats, 43 p.
- IFOAM (2008) : *Definition of Organic Agriculture*, IFOAM [WWW Document], <https://www.ifoam.bio/en/organic-landmarks/definition-organic-agriculture> (accessed 3.10.17).
- INSTITUT DE L'ÉLEVAGE, CHAMBRES D'AGRICULTURE (2014) : *Inosys - Réseau d'élevage 2014 - 2020?: Une plateforme collective pour la connaissance et l'innovation dans les systèmes d'élevage herbivores*, 12 p.
- LEMAIRE G., FRANZLUEBBERS A., CARVALHO P.C. DE F., DEDIEU B. (2014) : «Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality», *Agric. Ecosyst. Environ.*, 190, 4-8.
- MANJUNATHA S.B., SHIVMURTHY D., SATYAREDDI S.A., NAGARAJ M.V., BASAVESHA K.N. (2014) : «Integrated farming system - an holistic approach: a review», *RRJAAS, Research and Reviews: Journal of Agriculture and Allied Sciences*, 3, 30-38.
- MAZOYER M., ROUDART L. (1997) : *Histoire des agricultures du monde*, ULB-Université Libre de Bruxelles, 736 p.
- MISCHLER P., LHEUREUX S., DUMOULIN F., MENU P., SENE O., HOPQUIN J.P., CARIOLLE M., REAU R., MUNIER-JOLAIN N., FALOYA V. (2009) : «Huit fermes de grande culture engagées en production intégrée réduisent les pesticides sans baisse de marge», *Courr. Environ. INRA*, 57, 73-91.

- MORAINE M., DURU M., THEROND O. (2017) : «A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop-livestock systems from farm to territory levels», *Renew. Agric. Food Syst.*, 32, 43-56.
- OFFERMANN F., NIEBERG H. (2000) : *Economic performance of organic farms in Europe, Organic farming in Europe economics and policy*, Inst. für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Stuttgart-Hohenheim, 220 p.
- PERROT C., CAILLAUD D., CHAMBAUT H. (2013) : «Economies d'échelle et économies de gamme en production laitière», *NESE, Notes et études socio-économiques*, 37, 7-32.
- PEYRAUD J.L., CELLIER P., DONNARS C., RÉCHAUCHÈRE O. (2012) : *Les flux d'azote liés aux élevages, réduire les pertes, rétablir les équilibres.*, *Expertise scientifique collective, synthèse du rapport*, INRA, 72 p.
- PEYRAUD J.L., TABOADA M., DELABY L. (2014) : «Integrated crop and livestock systems in Western Europe and South America: A review», *Eur. J. Agron.*, 57, 31-42.
- PUECH C., BAUDRY J., AVIRON S. (2013) : «Effet des pratiques biologiques et conventionnelles sur les communautés d'insectes auxiliaires dans les paysages agricoles», *Innov. Agron.*, 32, 401-412.
- RASAMBATRA E. (2015) : *Création d'une grille de caractérisation de la polyculture-élevage*, Montpellier SupAgro, 63 p.
- RIGOLOT C., DE VOIL P., DOUXCHAMPS S., PRESTWIDGE D., VAN WIJK M., THORNTON P.K., RODRIGUEZ D., HENDERSON B., MEDINA D., HERRERO M. (2017) : «Interactions between intervention packages, climatic risk, climate change and food security in mixed crop-livestock systems in Burkina Faso», *Agric. Syst.* 151, 217-224.
- RUSSELLE M.P., ENTZ M.H., FRANZLUEBBERS A.J. (2007) : «Reconsidering Integrated Crop-Livestock Systems in North America», *Agron. J.*, 99, 325.
- RYSCHAWY J., CHOISIS N., CHOISIS J.P., JOANNON A., GIBON A. (2012) : «Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming?», *Animal*, 6, 1722-1730.
- RYSCHAWY J., JOANNON A., GIBON A. (2014) : «L'exploitation de polyculture-élevage : définitions et questions de recherche. Une revue», *Cah. Agric.*, 23, 346-356.
- SCHIERE H., KATER L. (2001) : *Mixed crop-livestock farming. A review of traditional technologies based on literature and field experience*, *Animal Production and Health Paper*, FAO, 152, 73 p.
- SÉRÉ C., STEINFELD H., GROENEWOLD J. (1996) : *World livestock production systems. Current status, issues and trends*, *FAO Animal production and Health*, FAO, 127, 58 p.
- SNEESENS I., VEYSSET P., BENOIT M., LAMADON A., BRUNSCHWIG G. (2016) : «Direct and indirect impacts of crop-livestock organization on mixed crop-livestock systems sustainability: a model-based study», *Animal*, 10, 1911-1922.
- SULC R.M., TRACY B.F. (2007) : «Integrated Crop-Livestock Systems in the U.S. Corn Belt», *Agron. J.*, 99, 335.
- TITTONELL P. (2013) : *Farming systems ecology towards ecological intensification of world agriculture*, Wageningen Universiteit, Wageningen, 40 p.
- VEYSSET P., LHERM M., BÉBIN D., ROULENC M. (2014) : «Mixed crop-livestock farming systems: a sustainable way to produce beef? Commercial farms results, questions and perspectives», *Animal*, 8, 1218-1228.
- WILKINS R.J. (2008) : «Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems», *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 363, 517-525.