

Polyculture-élevage bovin viande et mode d'utilisation du matériel : entre économies d'échelle et économies de gamme

Patrick VEYSSET, Marie CHARLEUF, Michel LHERM

Université Clermont Auvergne, INRA, VetAgro Sup, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France. Courriel : patrick.veysset@inra.fr

Résumé

Au cours des dernières décennies, les exploitations d'élevage bovin viande françaises se sont fortement agrandies, avec une consommation toujours croissante d'équipements et de consommations intermédiaires. Selon le concept d'économie d'échelle l'accroissement de la production agricole devrait générer des économies. Dans le cas d'exploitations polyculture-élevage, le concept d'économie de gamme voudrait que l'utilisation partagée de facteurs de production pour des productions complémentaires soit source de gain économique. A partir des données d'un échantillon d'exploitations bovines allaitantes Charolais du Centre France, nous observons que les exploitations de polyculture-élevage sont systématiquement plus grandes que les exploitations herbagères spécialisées. L'agrandissement des exploitations entraîne une forte augmentation des besoins en équipement et des charges induites. Ces charges ne se diluent pas avec la taille, ni ne se partagent entre productions animales et végétales. Les agriculteurs faisant le choix d'utiliser du matériel agricole en commun ne voient pas leurs charges de mécanisation diminuer. Au final, nous n'observons pas de gains économiques, que ce soit à l'échelle de l'atelier de production animal qu'à l'échelle de l'exploitation, entre exploitations herbagères spécialisées et grandes exploitations de polyculture-élevage, et ce, quel que soit le mode d'utilisation du matériel. Afin de pouvoir bénéficier des gains économiques potentiels liés à l'agrandissement et/ou à la diversification, il faudrait réfléchir à de nouvelles formes de structure d'exploitations d'élevage françaises. (JEL : Q12)

Mots-clés : économie de la production agricole, bovins viande, diversification, agrandissement

Mixed crop-livestock farming and equipment use: between economies of scale and economies of scope

Over the last few decades, French beef farms have enlarged considerably, with ever-increasing consumption of equipment and intermediate consumption. According to the concept of economy of scale, increasing agricultural production should generate savings. In the case of mixed-crop-livestock farms, the concept of economy of scope would require that the shared use of production factors for complementary productions be a source of economic gain. Based on data from a sample of Charolais suckler cattle farms, we observe that mixed-crop-livestock farms are systematically larger than specialized grassland farms. The enlargement of farms leads to a significant increase in equipment requirements and induced costs. These costs are not diluted with size, nor are they shared between animal and plant production. Farmers who choose to use common agricultural equipment do not see their mechanization costs decrease. In the end, we do not observe any economic gains, either at the level of the animal production unit or at the farm level, between specialized grassland farms and large mixed-crop-livestock farms, regardless of the way the equipment is used. In order to benefit from the potential economic gains associated with enlargement and/or diversification, consideration should be given to new forms of French livestock farm structure. (JEL: Q12)

Keywords: economics of agricultural production, beef cattle, diversification, enlargement

Introduction

Au cours des dernières décennies, les exploitations d'élevage bovin viande n'ont cessé de s'agrandir et d'accroître considérablement leur productivité du travail. Les exploitations bovin viande françaises du réseau d'information comptable agricole (RICA), statistiquement représentatives des exploitations professionnelles, ont quasiment doublé leur surface agricole (+86 %) et la taille de leur troupeaux (+85 %) entre 1988 et 2016 pour une main-d'œuvre totale en baisse de 6 %. La productivité du travail de ces exploitations s'est accrue sur la période à un rythme moyen annuel de +2,2 %. Des travaux ont montré que cette évolution des structures s'est accompagnée d'une baisse d'efficacité technique des systèmes de production (Veysset et al., 2015).

Les exploitations d'élevage semblent avoir joué la carte des économies d'échelle pour se développer. Ce concept voudrait que le coût de production d'un produit agricole diminue avec la quantité produite (et donc la taille de l'atelier). La dilution des coûts fixes et la diminution du prix unitaire des intrants, grâce à une meilleure négociation du fait des volumes, seraient à l'origine de ces économies (Duffy, 2009). Veysset et al., 2019 ont montré que ce type d'économie n'est pas effectif pour des exploitations d'élevage bovin viande du bassin Charolais. Entre 1980 et 2015 la taille moyenne de ces exploitations Charolaises a augmenté de 64 % pour la surface agricole et 74 % pour les troupeaux, alors que les productivités partielles des consommations intermédiaires et des équipements ont baissé respectivement de 0,37 % et 0,85 % par an, le volume de production par hectare (ha) de surface agricole (SAU) a stagné, voire légèrement baissé. Plus la taille augmente, plus le recours aux intrants et aux équipements est important, les charges de mécanisation et les charges fixes par hectare de surface agricole ont donc augmenté avec la taille. Cette tendance se confirme à l'échelle nationale puisque les charges de mécanisations des exploitations bovin viande du RICA ont augmenté de 15 % entre 1988 et 2016 (respectivement 273 et 312 euros constants par hectare de surface agricole), et leur poids dans les charges totales passe de 23 % à 30 %.

Depuis plusieurs années, un certain nombre d'auteurs étudient les systèmes de polyculture-élevage (PCE) en émettant l'hypothèse que ces systèmes sont plus vertueux au niveau économique et environnemental (Ryschawy et al., 2012), et donc plus durables (Salton et al., 2014). De nombreux exemples sur divers continents montrent qu'intégrer (coupler) cultures et élevages favorise le recyclage des nutriments, limite le recours aux intrants et donc préserve la biodiversité et les agroécosystèmes (Peyraud et al., 2014). L'intérêt de la PCE ne peut s'exprimer que si les ateliers de cultures et d'élevage sont intégrés (Lemaire et al., 2014, Garnier et al., 2016). Cette intégration entre ateliers peut se faire à une échelle autre que l'exploitation, notamment à l'échelle territoriale (Martin et al., 2016). Malgré une abondante littérature ces dernières années vantant les mérites potentiels de la PCE, certaines études montrent que l'intégration culture-élevage n'est pas forcément évidente à l'échelle exploitation (Perrot et al., 2013, Veysset et al., 2014a) ou territoriale (Asai et al., 2018). Cette gestion intégrée des exploitations ou territoires diversifiés pose également des questions de perception de ce concept par les acteurs sur le terrain (Rose et al., 2019) et n'aborde pas souvent le pilier social de la durabilité (Garrett et al., 2017a), et son adéquation avec les incitations des politiques publiques (Garrett et al., 2017b) ou celles des marchés (Bowman et Zilberman, 2013).

D'un point de vue économie de la production, l'intégration culture-élevage des systèmes de PCE devrait théoriquement permettre de réaliser des économies de gamme (Roest et al., 2018). Ce concept d'économie de gamme se révèle dans des situations où le coût d'utilisation d'un intrant (service, approvisionnement, équipement, travail) partageable entre plusieurs ateliers de production est plus faible que le coût total d'utilisation de cet intrant pour chaque atelier séparément (Panzar et Willig, 1981). En agriculture ces économies de gamme existent lorsque la diversification d'une exploitation agricole accroît sa productivité et diminue le coût de production de chacun des produits, cette notion étant souvent associée à une réduction du risque économique liée à la diversification (Chavas, 2008). Cette notion d'intrant partageable peut aussi bien être appliquée à l'échelle d'une

exploitation, qu'entre plusieurs exploitations afin de mutualiser et donc baisser le coût de son utilisation.

Notre objectif pour cette étude, est d'étudier les éventuelles différences structurelles (surface, nombre d'animaux, part de cultures) et de performances économiques (coût de production du kilogramme de viande, coût de la mécanisation, résultats économiques globaux) entre des exploitations d'élevage bovin viande spécialisées et des exploitations polyculture-élevage bovin viande, ainsi que l'impact économique du mode d'utilisation du matériel agricole (propriété ou partagé). Après avoir présenté l'échantillon de fermes et les données utilisées, nous constituerons des classes selon leur surface en cultures annuelles et leur mode d'utilisation du matériel. Nous présenterons les variables analysées et les méthodes d'analyse. Les résultats seront discutés et nous conclurons.

1. Matériel et méthode

1.1. L'échantillon Charolais moyenne sur 4 ans 2012-2016

L'INRA de Clermont-Theix, a mis en place dans les années 1970 un réseau d'observations technico-économiques en exploitations d'élevage bovins allaitants charolais du centre de la France. Le but de ce réseau est de connaître et d'analyser les potentialités des systèmes de production et de comprendre les déterminants des résultats et des évolutions (Veysset et al., 2014b).

Une enquête annuelle permet de collecter plus de 300 données concernant la main-d'œuvre (familiale, salariée, temporaire), le troupeau (vêlages, mouvements d'animaux, poids), les surfaces (assolement, récoltes), le matériel (liste exhaustive), les bâtiments et installations, les consommations intermédiaires (quantités et prix), les ventes (types d'animaux et végétaux, quantités, prix), les aides et subventions (couplées, non couplées, montants unitaires), les investissements et emprunts. Ces données servent à calculer annuellement pour chaque exploitation un grand nombre de variables structurelles et technico-économiques.

Notre analyse portera sur les résultats des cinq dernières années disponibles pour ce réseau, soit de 2012 à 2016. Sur ces cinq années, nous conservons les exploitations qui ont eu au moins trois années consécutives de suivi afin d'avoir un échantillon relativement constant. L'échantillon étudié comprend 66 exploitations, dont 49 (74 %) présentes sur les 5 années, 11 sur 4 ans et 6 sur 3 ans (2012-2014).

1.2. Variables de tri et constitution des groupes

1.2.1 Exploitations d'élevage avec une plus ou moins grande surface en cultures

Parmi ces 66 exploitations d'élevage, nous voulons distinguer les exploitations herbagères spécialisées en élevage bovin et les exploitations de PCE plus ou moins spécialisées en élevage bovin et/ou en culture de vente. Nous avons fait le choix d'utiliser la variable de tri « cultures annuelles », intégrant aussi bien les cultures fourragères annuelles (principalement le maïs ensilage) que les cultures dites de vente (principalement céréales et oléo-protéagineux) destinées à la vente ou à l'intra-consommation pour l'alimentation des bovins. Quelle que soit leur destinée, ces cultures nécessitent du matériel spécifique pour des chantiers annuels tels que le travail du sol, le semis, les épandages et traitements. Les exploitations de PCE peuvent se caractériser soit par la part de cultures annuelles dans leur surface agricole (cultures annuelles en % de la SAU), soit par la surface totale en culture annuelles (ha cultures annuelles). Faisant l'hypothèse que le type de matériel utilisé (puissance, largeur de travail etc.), ainsi que son mode d'utilisation (en propriété ou non) va dépendre de la taille des chantiers, nous avons choisi de trier nos exploitations selon leur surface totale en cultures annuelles. Quatre groupes sont ainsi constitués :

- Groupe A : constitué de 6 exploitations qui n'ont pas de cultures annuelles. Ce sont des éleveurs dont la SAU de leur exploitation est 100 % dédiée à herbe.

- Groupe B : constitué de 19 exploitations qui ont moins de 20 ha de cultures annuelles. En moyenne, les cultures annuelles occupent 9 % de la SAU de ces exploitations.
- Groupe C : constitué de 26 exploitations qui ont de 21 à 60 ha de cultures annuelles. En moyenne, les cultures annuelles occupent 21 % de la SAU de ces exploitations.
- Groupe D : constitué de 15 exploitations qui ont plus de 61 ha de cultures annuelles. En moyenne, les cultures annuelles occupent 43 % de la SAU de ces exploitations.

Le groupe D est par construction le groupe qui a la plus grande surface en cultures annuelles, mais c'est également celui qui consacre la plus grande part de sa SAU aux cultures annuelles avec 43 %.

1.2.2 Mode d'utilisation du matériel

Selon les stratégies d'investissements et/ou les opportunités locales, les agriculteurs peuvent choisir de posséder (seul ou en copropriété) l'ensemble du matériel agricole nécessaire à leurs besoins, ou de déléguer tout ou partie des chantiers à des entreprises de travaux agricoles (ETA), ou encore d'adhérer à une coopérative d'utilisation du matériel en commun (CUMA). Dans notre base de données nous disposons pour chaque exploitation et chaque année, du montant des charges d'amortissement du matériel en propriété, des charges de CUMA et des charges liées au travaux par tiers (ETA). Ces charges constituent une partie des charges de mécanisation.

Chaque agriculteur n'utilise pas qu'une seul mode d'utilisation du matériel sur son exploitation, mais un mix de ces trois modes. Afin de réaliser une typologie des exploitations, nous avons réalisé une classification ascendante hiérarchique (CAH) selon 2 variables : la part respective des charges allouées au poste CUMA et au poste « travaux par tiers ou entreprise » dans les charges de mécanisation totales. Trois classes sont ainsi formées :

- Classe « entreprise » : 20 exploitations caractérisées par un important recours aux ETA. Les charges liées aux ETA représentent 14 % des charges de mécanisation totales, contre 6,6% en moyenne pour les 66 exploitations.
- Classe « propriété » : 29 exploitations caractérisées par des charges d'amortissement du matériel élevées. Les amortissements représentent 48 % des charges de mécanisations totales contre 41 % en moyenne pour l'ensemble des exploitations.
- Classe « CUMA » : 17 exploitations avec des charges de CUMA représentant 23 % des charges de mécanisation totales, contre 8,5 % en moyenne pour l'ensemble des exploitations.

1.3. Expression et analyse des résultats

Afin d'analyser les structures et les performances économiques de chacun des groupes constitués, nous avons réalisé une analyse descriptive comparée des principales variables.

- Variables de structure et utilisation des surfaces : surface agricole totale, nombre d'UGB, part des surfaces en culture, productivité physique du travail, chargement,
- Variables économiques. Les résultats économiques sont étudiés à deux échelles :
 - A l'échelle de l'atelier bovin avec l'analyse de la marge brute bovine par UGB. Nous analyserons également le coût de production du kg de viande vive produit (Institut de l'Elevage, 2010). Ce coût de production est calculé par une allocation de l'ensemble des charges de l'exploitation à l'atelier bovin selon des clés de répartition entre ateliers pour les exploitations diversifiées. Le coût de production du kg de viande vive produit intègre la rémunération du travail familial avec un forfait de 1,5 SMIC net¹ (les cotisations sociales sont comptées par ailleurs) par travailleur familial affecté à l'atelier bovin, ainsi que la rémunération des capitaux propres (au taux du livret A).

¹ Salaire minimum de croissance : 13416 euros et 13692 nets annuels respectivement en 2012 et 2016 pour un travailleur à temps plein

- A l'échelle de l'exploitation avec un focus particulier sur les charges de structure (ou charges fixes) dont les charges de mécanisation. Les charges de mécanisation intègrent l'amortissement annuel des équipements (amortissement dégressif avec un taux de dépréciation annuel de 10 à 20 % selon le type de matériel), les consommations de carburants et lubrifiants, les frais d'entretien et réparation, les achats de pièces et petit matériel, les assurances, les travaux par tiers (entreprise ou CUMA). La performance économique globale des exploitations est évaluée par l'excédent brut d'exploitations (EBE) et le revenu du travail et des capitaux² (RWC). Ces charges et performances sont exprimées en euros par ha de SAU ou par travailleur (UTH) afin de comparer les différents groupes en eux.

Pour chaque exploitation, les variables sont calculées en moyenne sur la période 2012-2016, en déflatant les variables économiques de l'indice des prix à la consommation (IPC, Insee) afin de raisonner en euros constant 2016.

Pour tenir compte de la variabilité des résultats au sein d'un même groupe, nous avons réalisé un test non paramétrique de comparaison multiple par paire (Steel-Dwass-Critchlow-Fligner). Ce test permet de déterminer si les groupes ont des caractéristiques identiques, ou non, en terme de distribution et de valeur médiane. Pour des valeurs moyennes différentes d'une variable, l'hétérogénéité et la variabilité intra-groupe peut aboutir à des valeurs médianes peu ou pas différentes et à conclure que ces deux groupes ne diffèrent pas l'un de l'autre.

Enfin, les corrélations entre les variables étudiées pour l'ensemble de l'échantillon sont analysées après avoir calculé le coefficient de corrélation de Spearman (la distribution des valeurs des variables ne suit pas un loi normale).

2. Résultats

2.1. Structure et performances économiques des exploitations d'élevage et de polyculture-élevage

Les 66 exploitations d'élevage bovins viande Charolais de notre échantillon sont en moyenne relativement grandes (179 ha et 167 UGB) et assez spécialisées avec 81 % de leur SAU dédiés à la surface fourragère. Elles sont plus grandes et un peu moins spécialisées que la moyenne des exploitations professionnelles françaises d'orientation technico-économique bovins viande (OTEX 46) du réseau d'information comptable agricole (RICA), qui, en moyenne sur la même période, utilisent 107 ha de surface agricole, dont 85 % de surface fourragère, et détiennent 117 UGB. Avec 1,92 travailleurs totaux (équivalent temps plein), chaque travailleur de notre échantillon détient autant d'UGB que la moyenne des exploitations bovin viande du RICA (85 et 87 respectivement pour le RICA et pour notre échantillon), mais 20 % de plus de surface agricole (77 et 94 ha respectivement).

Caractéristiques structurelles moyennes

Les exploitations ayant plus de 60 ha de cultures annuelles (groupe D) sont les plus grandes, alors que les surfaces agricoles des exploitations des 3 autres groupes ne diffèrent pas significativement (tableau 1). La surface en cultures annuelles est logiquement (variable de tri) significativement différente entre les 4 groupes, alors que leur surface fourragère ne les distingue pas. La part des cultures annuelles dans la SAU est donc significativement différente entre chaque groupe et est croissante du groupe A (0 %) au groupe D (43 %).

Ce sont les exploitations du groupe B (0-20 ha culture) qui détiennent le moins d'UGB et donc produisent le moins de viande vive. Les exploitations du groupe D, en plus d'avoir la plus grande

² Le RWC doit rémunérer l'ensemble de la main-d'œuvre et du capital propre (hors foncier) de l'exploitation. C'est un critère de comparaison des exploitations entre elles, et dans le temps. Les salaires nets des salariés ne sont pas comptés dans les charges et une valeur locative est allouée aux terres en propriété

RWC = Résultat courant + (salaires nets des salariés) - (valeur locative des terres en propriété - impôts fonciers).

surface en cultures annuelles, détiennent le plus d'UGB et produisent le plus de viande mais pas significativement plus que les exploitations herbagères du groupe A. En ramenant la production de viande par ha de surface fourragère ou par travailleur, aucun des 4 groupes ne se distinguent.

Les 4 groupes discriminés par leur surface en cultures annuelles possèdent un atelier de production animal de dimension relativement voisine, aucun des 4 groupes de se distingue des 3 autres groupes. Les deux seuls groupes qui se distinguent entre eux sont le groupe B (0-20 ha de cultures) et le groupe D qui ont respectivement la plus faible et la plus forte production de viande vive. La diversification avec des cultures se fait donc par l'ajout de surfaces en culture pour aboutir à une taille d'exploitation plus grande chez les exploitations de polyculture-élevage.

Tableau 1 : caractéristiques structurelles moyennes sur 5 ans (2012-2016) de l'échantillon total et des 4 groupes

	Total	A : 0 ha cultures	B : 0-20 ha cultures	C : 20-60 ha cultures	D : > 60 ha cultures
Nombre de Travailleurs (UTH)	1,92	1,71 ^a	1,64 ^a	1,82 ^a	2,51 ^a
Surface Agricole Utile (SAU) ha	179	173 ^a	133 ^a	162 ^a	271 ^b
Surface Fourragère Principale (SFP) ha	140	173 ^a	122 ^a	134 ^a	161 ^a
<i>dont cultures fourragères ha</i>	4	0 ^a	1 ^a	5 ^b	9 ^b
Cultures non fourragère ha	39	0 ^a	10 ^b	28 ^c	110 ^d
SFP % SAU	81	100 ^d	92 ^c	81 ^b	60 ^a
Cultures annuelles totales % SAU	21	0 ^a	9 ^b	21 ^c	43 ^d
Unités Gros Bovins (UGB)	167	187 ^{ab}	136 ^a	157 ^{ab}	214 ^b
SAU ha / UTH	94	97 ^{ab}	83 ^a	92 ^{ab}	110 ^b
UGB / UTH	87	110 ^b	83 ^{ab}	86 ^{ab}	85 ^a
Chargement UGB / ha SFP	1,19	1,12 ^a	1,13 ^a	1,18 ^a	1,33 ^a
Viande vive produite t	52,3	58,8 ^{ab}	41,7 ^a	49,9 ^{ab}	67,3 ^b
Viande vive produite t / UTH	28,0	33,9 ^a	26,4 ^a	28,4 ^a	27,3 ^a
Viande vive produite kg / ha SFP	379	347 ^a	349 ^a	382 ^a	422 ^a

Coût de production du kg de viande vive produit et marge brute bovine

La performance productive des troupeaux (kg de viande vive produits par UGB) ainsi que le produit bovin hors aides par UGB ne sont pas significativement différents entre les 4 groupes (tableau 2). De même pour les charges du troupeau par UGB. Par contre, les charges de la surface fourragère (semences, traitements, engrais, ficelles, bâches ensilage) sont plus élevées lorsque des cultures annuelles apparaissent, elles sont donc les plus faibles dans le groupe A et les plus élevées dans le D, alors que la production de viande vive par ha de SFP est identique dans les 4 groupes (tableau 1). Au final, la marge brute bovine hors aides par UGB est la plus faible dans le groupe D alors qu'elle est du même niveau dans les 3 autres groupes.

La taille des ateliers bovin viande étant peu différente entre groupes (les groupe A, B et C produisent la même quantité de viande, le groupe D en produit autant que les groupe A et C), la comparaison de coûts de production peut donc se faire sans le biais de l'effet taille (sauf entre les groupe B et D). Globalement il n'y a pas de différence significative du coût de production du kg de viande vive quelle que soit la surface de cultures annuelles dans l'exploitation (tableau 2). Logiquement, ne produisant pas de céréales utilisées comme concentré dans l'alimentation des animaux, les exploitations herbagères du groupe A ont la plus forte charge d'aliment acheté, mais pas significativement plus élevée que celle du groupe D qui pourtant dispose d'une grande surface en céréales qui pourrait permettre plus d'autonomie alimentaire.

Les charges de mécanisation par kg de viande vive produites sont les plus élevées dans le groupe D, et les plus faibles dans le groupe A. Introduire des céréales dans l'assolement de la ferme ne permettrait donc pas de réduire les charges de mécanisation de l'atelier bovin (par le partage du coût du tracteur

ou autre matériel entre ateliers), au contraire cela semble les accroître. Malgré ces charges de mécanisation plus élevées en polyculture-élevage, les charges fixes totales par kg de viande vive produites sont similaires dans les 4 groupes, ainsi que les charges de travail.

Tableau 2 : marge brute bovine hors aides et coût de production du kg de viande vive produit, moyenne sur 5 ans (2012-2016) de l'échantillon total et des 4 groupes

	Total 66	A : 0 ha cultures	B : 0-20 ha cultures	C : 20-60 ha cultures	D : > 60 ha cultures
Kg viande vive produits / UGB	314	307 ^a	307 ^a	321 ^a	311 ^a
Produit brut bovin hors aides €/UGB	737	755 ^a	725 ^a	749 ^a	726 ^a
Charges du troupeau €/UGB	272	295 ^a	249 ^a	267 ^a	300 ^a
Charges de la SFP €/UGB	57	29 ^a	49 ^{ab}	60 ^{ab}	75 ^b
Marge brute bovine hors aide / UGB	408	433 ^b	427 ^b	421 ^b	351 ^a
Charges variables totales €/kgvv	1,04	1,02 ^a	0,97 ^a	1,01 ^a	1,19 ^b
<i>dont aliments achetés</i> €/kgvv	0,29	0,58 ^b	0,26 ^a	0,24 ^a	0,31 ^{ab}
Charge fixes hors travail €/kgvv	1,79	1,98 ^a	1,77 ^a	1,75 ^a	1,83 ^a
<i>dont mécanisation</i> €/kgvv	0,71	0,58 ^a	0,67 ^{ab}	0,71 ^{ab}	0,82 ^b
Charges de travail €/kgvv	0,91	0,89 ^a	1,04 ^a	0,88 ^a	0,81 ^a
Coût de production total €/kgvv	3,74	3,89 ^a	3,78 ^a	3,64 ^a	3,83 ^a

Détail des charges de mécanisation et résultats économiques à l'échelle de l'exploitation

Les charges de mécanisation par ha de surface agricole augmentent significativement avec le nombre d'hectares de cultures annuelles dans la SAU (tableau 3). Les charges du groupe D sont ainsi 57 % plus élevées que celles du groupe A. Ceci est le résultat d'une augmentation non significative de chacun des postes composant ces charges. Le seul poste significativement supérieur dans le groupe D est celui de la consommation de carburant.

Les exploitations du groupe D sont significativement plus grandes que les autres, pourtant les charges fixes totales par hectare de SAU n'y sont pas plus faibles. Ces charges fixes par ha de SAU sont également de même niveau quelle que soit la part de la SAU occupée par des cultures annuelles.

Il n'y a pas de différences significative entre les 4 groupes concernant les résultats économiques globaux (EBE et revenu du travail et des capitaux) par hectare de SAU ou par travailleur.

Tableau 3 : charges de structure et de mécanisation par ha de SAU, résultats économique des exploitations, moyenne sur 5 ans (2012-2016) de l'échantillon total et des 4 groupes

	Total 66	0 ha cul	0-20 ha cult	20-60 ha Cult	>60 ha N=
Charges de mécanisation €/ha SAU	254	195 ^a	228 ^{ab}	257 ^b	306 ^c
<i>Amortissement matériel</i>	105	77 ^a	99 ^a	109 ^a	119 ^a
<i>Carburant</i>	52	37 ^a	42 ^a	55 ^a	68 ^b
<i>Assurances</i>	11	10 ^a	12 ^a	11 ^a	11 ^a
<i>Entretien matériel</i>	46	37 ^a	46 ^a	40 ^a	58 ^a
<i>CUMA</i>	22	22 ^a	9 ^a	25 ^a	31 ^a
<i>Entreprise</i>	18	12 ^a	18 ^a	17 ^a	20 ^a
Totale charges fixes €/ha SAU	628	676 ^a	597 ^a	617 ^a	666 ^a
Excédent Brut d'Exploitation (EBE)	436	350 ^a	463 ^a	444 ^a	423 ^a
RWC € / ha SAU	235	175 ^a	279 ^a	238 ^a	199 ^a
RWC k€ / UTH	20,9	17,1 ^a	22,5 ^a	20,9 ^a	20,4 ^a

Aides k€ / UTH	36,4	39,6 ^a	34,6 ^a	36,1 ^a	37,8 ^a
----------------	------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Principales corrélations entre variables structurelles et économiques

Le tableau 4 montrent les coefficients de corrélation de Spearman des principales variables structurelles et économiques. Il apparaît que la taille des exploitations et la part de la SAU affectée aux cultures annuelles sont positivement corrélées. Les exploitations de polyculture-élevage sont de plus grande taille que les exploitations herbagères. Le nombre d'ha de cultures annuelles et la part de la SAU affectée aux cultures annuelles sont très fortement corrélé ($r=0,956$)

La taille des exploitations (SAU) est positivement corrélée aux charges de mécanisation, que ce soit à l'échelle de l'atelier bovin ($r=0,263$ avec les charges de mécanisation par kgvv) qu'à celle de l'exploitation ($r=0,367$ avec les charges de mécanisation par ha SAU). La marge brute bovine est négativement corrélée à la taille de l'exploitation ($r=-0,322$).

A l'échelle de l'atelier bovin, le nombre d'ha et le pourcentage de cultures annuelles dans l'exploitation sont positivement corrélés aux charges variables et aux charges de mécanisation par kg de viande vive produite ($r=0,356$ et $0,404$ respectivement), et négativement corrélée à la marge brute bovine par UGB ($r=-0,312$ et $-0,297$ respectivement). Les charges de mécanisation par ha de SAU sont positivement corrélées à l'orientation en cultures annuelles ($r=0,595$ avec le nombre d'ha de cultures annuelles et $r=0,647$ avec la part de cultures annuelles). Cependant il n'y a pas de corrélation significative entre la taille, le nombre d'ha ou la part de culture annuelles dans la SAU et le revenu par ha ou par travailleur.

Tableau 4 : coefficients de corrélation de Spearman des principales variables structurelles et économiques moyennes entre 2012 et 2016, pour l'ensemble de notre échantillon de 66 fermes

Spearman (p-values<0.05)	Nombre de Travailleurs (UTH)	Surface Agricole Utile ha	Cultures annuelles ha	Cultures annuelles % SAU
Nombre de Travailleurs (UTH)	1			
Surface Agricole Utile (SAU) ha	0,743	1		
Cultures annuelles ha	0,461	0,642	1	
Cultures annuelles % SAU	0,326	0,441	0,956	1
Charges variables totales €/kgvv	ns	ns	0,356	0,404
Charges de mécanisation €/kgvv	0,259	0,263	0,340	0,325
Charges de travail €/kgvv	ns	-0,301	ns	ns
Marge brute bovine €/UGB	ns	-0,322	-0,312	-0,297
Charges de mécanisation € ha SAU	0,318	0,367	0,595	0,647
RWC € / ha SAU	ns	ns	ns	ns
RWC € / ha UTH	ns	ns	ns	ns

2.2. Mode d'utilisation du matériel

Les agriculteurs qui font le choix de s'équiper individuellement, d'adhérer à des CUMA ou de sous-traiter à des entreprises pour tout ou partie de leur chantier, gèrent des structures semblables (tableaux 5). La taille des exploitations, le nombre d'hectares de cultures annuelles, la part des cultures annuelles dans la SAU, le nombre d'UGB, la production de viande et la productivité physique du travail ne sont pas significativement différents entre les 3 groupes.

Le plus surprenant est que les charges de mécanisation par ha de SAU ou par kg de viande vive produits sont semblables dans chacun des groupes. Les exploitations qui ont leur matériel en propriété ont des charges d'amortissement 38 % plus élevées que dans les deux autres groupes. Par

rapport à ces exploitations, les exploitations des groupes CUMA et Entreprise ont des charges d'amortissement de leur matériel inférieures de 34 et 33 euros par ha respectivement, mais des charges de CUMA et d'entreprise 51 euros et 23 euros par ha supérieures respectivement. Il n'y a pas de différence entre ces 3 groupes concernant les charges de carburant, d'entretien du matériel et d'assurance.

Ni les charges fixes totales par ha de SAU, ni le coût de production du kg de viande vive produit ne diffèrent entre les 3 groupes. Le revenu du travail et des capitaux par ha et par travailleur est identique quel que soit le mode d'utilisation du matériel.

Tableau 5 : caractéristiques structurelles et résultats économiques des exploitations selon le mode d'utilisation du matériel, moyenne sur 5 ans (2012-2016)

	Entreprise 20	Propriété 29	CUMA 17
Nombre de Travailleurs (UTH)	1,75 ^a	2,02 ^a	1,93 ^a
Surface Agricole Utile (SAU) ha	174 ^a	181 ^a	183 ^a
Surface Fourragère Principale (SFP) ha	138 ^a	135 ^a	151 ^a
Cultures annuelles ha	42 ^a	49 ^a	37 ^a
SFP % SAU	82 ^a	81 ^a	81 ^a
Cultures annuelles totales % SAU	21 ^a	20 ^a	21 ^a
Unités Gros Bovins (UGB)	168 ^a	160 ^a	177 ^a
SAU ha / UTH	99 ^a	88 ^a	97 ^a
UGB / UTH	96 ^a	79 ^a	92 ^a
Viande vive produite t / UTH	28,8 ^a	26,1 ^a	30,1 ^a
Viande vive produite kg / ha SFP	367 ^a	383 ^a	387 ^a
Charges de mécanisation €/ha SAU	238 ^a	257 ^a	267 ^a
<i>Amortissement matériel</i>	91 ^a	124 ^b	90 ^a
<i>Carburant</i>	51 ^a	53 ^a	53 ^a
<i>Assurances</i>	10 ^a	13 ^b	10 ^a
<i>Entretien matériel</i>	49 ^a	47 ^a	41 ^a
CUMA	5 ^a	10 ^a	61 ^b
Entreprise	33 ^b	9 ^a	13 ^a
Charges fixes totales €/ha SAU	635 ^a	609 ^a	651 ^a
Charges de mécanisation €/kgvv	0,67 ^a	0,71 ^a	0,75 ^a
Coût de production total €/kgvv	3,78 ^a	3,73 ^a	3,73 ^a
Excédent Brut d'Exploitation €/ha SAU	353 ^a	495 ^b	434 ^b
RWC € / ha SAU	174 ^a	272 ^b	245 ^{ab}
RWC k€ / UTH	16,5 ^a	23,2 ^a	22,3 ^a

3. Discussion

Les 66 exploitations d'élevage bovin allaitant Charolais, toutes situées dans le bassin Charolais, intègrent une plus ou moins grande surface de cultures annuelles dans leur assolement. Pour discriminer les exploitations spécialisées herbagères des exploitations de polyculture-élevage, nous avons choisi la variable nombre d'hectares de cultures annuelles dans l'assolement. Mais la PCE ne se résume pas uniquement à un nombre d'hectares de cultures dans des exploitations d'élevage, d'autres définitions de la PCE coexistent tenant compte des critères structurels, économiques ou fonctionnels (Ryschawy et al., 2014). La notion d'intégration culture-élevage est très importante pour caractériser des exploitations de PCE (Hendrikson et al., 2008 ; Bell et Moore, 2012). Cette intégration (ou niveau de couplage entre culture et élevage) est dépendante de la part de cultures dans les exploitations (Martel et al., 2017). Pour caractériser les exploitations de PCE de notre échantillon,

nous aurions donc pour utiliser comme variable de tri la part de la SAU allouée aux cultures annuelles. Nous avons vu que les deux variables, nombre d'ha et part de la SAU dédiés aux cultures annuelles sont très fortement corrélées. Les coefficients de corrélation entre l'une ou l'autre de ces deux variables et les différentes variables économiques étudiées vont toujours dans le même sens avec des valeurs très proches. Choisir l'une ou l'autre variable de tri n'influe donc pas sur les tendances observées. Taille et orientation productive des exploitations étant très liées, il est très difficile de mettre en évidence la réalité (ou non) des économies d'échelle et des économies de gamme.

3.1. La taille des exploitations de polyculture-élevage.

Alors que nombre de travaux portent sur l'intérêt de l'intégration culture-élevage à l'échelle de l'exploitation polyculture-élevage, il existe très peu d'études sur les structures dans lesquelles cette intégration peut être efficacement effectuée.

Les exploitations de polyculture-élevage du réseau Charolais étudiées sont de plus grandes taille (surface, main-d'œuvre et cheptel) que les exploitations herbagères plus spécialisées. Elles ne diversifient pas leur production sur la même surface, mais, à une surface fourragère et à un atelier bovin de taille équivalente (ou légèrement plus grands) que les plus spécialisées, elles ajoutent des surfaces en cultures. Ceci a également été observé pour les exploitations en polyculture bovin lait de plaine du RICA France métropolitaine (Perrot et al., 2013). Dans une étude sur la dynamique d'évolution entre 2007 et 2014 de la polyculture-élevage dans quatre régions françaises (Lorraine, Midi-Pyrénées, Normandie et Pays de la Loire) Hirschler et al., 2019 montrent que la polyculture-élevage se maintient bien, voire se développe dans des zones intermédiaires, grâce à des éleveurs qui développent les cultures. Il y a une dynamique de l'élevage spécialisé vers la polyculture-élevage. Ce passage de systèmes d'élevage à des systèmes de polyculture-élevage s'accompagne d'un accroissement de taille (+26 % de SAU moyenne), les exploitations de polyculture-élevage sont alors de taille nettement supérieure aux exploitations d'élevage. Dans des zones à très bon potentiel agronomique, lorsque des exploitations de polyculture-élevage passent à des systèmes de grande culture, cela se fait pratiquement à même surface.

Dans un bassin de production, ou dans une région, il est alors très difficile, voire impossible, de constituer des groupes d'exploitations iso-surface avec des niveaux de diversification variables.

3.2. Charges de mécanisation : économies d'échelle et économies de gamme

Les exploitations de l'échantillon analysé ayant la plus grande surface en culture produisent également la plus grande quantité de viande bovine. Selon le concept d'économie d'échelle, le coût de production unitaire des produits devrait être plus faible que dans les autres groupes. Concernant le coût de production du kg de viande vive, nous n'observons pas de différence significative avec la quantité de viande produite et la taille de l'exploitation. Les grandes exploitations ont les plus fortes charges variables par kg de viande, alors que le niveau de production des animaux n'est pas supérieur aux autres groupes. Ce rapport défavorable entre charges variables et productivité animale, semblerait indiquer que l'efficacité technique du système de production de viande est plus faible dans les grandes exploitations, ce qui a été montré par Veysset et al., 2015, notamment du fait de simplifications de pratiques dans la gestion du troupeau avec une utilisation accrue d'aliments achetés (Aubron et al., 2016). Ces charges variables supérieures ne sont pas compensées par une économie sur les charges fixes, y compris le travail. Les charges de mécanisations viennent dégrader les charges fixes. Il n'y a pas de dilution des coûts d'utilisation du matériel dans le volume de viande produit. Des conclusions sensiblement identiques sont faites par Perrot et al., 2013 pour les exploitations laitières de plaine.

Tauer et Mishra, 2006 ainsi que Mosheim et Lovell, 2009 ont montré que le coût de production du lait aux USA diminue avec la taille des ateliers du fait d'une meilleure efficacité des systèmes. Mais dans leurs études respectives, les grandes fermes sont des exploitations de plus de 1000, voire 2000

vaches, avec un pool de salariés, c'est-à-dire des échelles n'existant pas en France où l'agriculture dite familiale est le modèle dominant. Sur une autre échelle de taille (beaucoup plus petites que les exploitations françaises), Bojnec et Latruffe, 2013 montrent que les petites fermes de Slovénie (< 5 ha) ont une meilleure allocation de leurs facteurs de production et une meilleure rentabilité que les fermes de taille moyenne (5-20 ha) ; les fermes de taille moyenne étant trop petites pour être économiquement efficaces et trop grandes pour être rentables.

Dans notre étude, nous n'observons pas de dilution des charges de mécanisation sur les surfaces supplémentaires des grandes exploitations. Au contraire, les charges de mécanisation par ha de SAU sont les plus élevées dans les plus grandes exploitations. Les grandes surfaces entraînent une plus grande consommation de carburant par ha, certainement du fait d'un morcellement accru des parcelles avec l'augmentation de la taille (Latruffe et Piet, 2014), sans diminuer les charges d'amortissement et les autres postes constituant les charges de mécanisation.

Ces charges de mécanisation sont souvent vues comme une source potentielle d'économie de gamme, du fait qu'elles sont « partageables » entre ateliers (notamment le matériel de traction). Que ce soit à l'échelle de l'atelier bovin ou à l'échelle exploitation, le coût de la mécanisation par kg de viande vive produit et par ha respectivement, augmente avec le nombre d'hectares et la part de culture annuelles dans la SAU. Ce sont les exploitations herbagères spécialisées qui affichent les plus faibles charges de mécanisation par kg de viande ou par hectare. Ces importantes charges de mécanisation dans les grandes exploitations de PCE semblent indiquer des besoins en mécanisation très élevés pour faire face aux exigences des chantiers à réaliser (disponibilité en main-d'œuvre, rapidité d'exécution dans un créneau météorologique limité, souplesse d'exécution des chantiers). Les charges de mécanisation ne sont pas compensées totalement par des gains sur les charges de travail ou autres charges fixes. La substitution travail-équipement semble être inélastique, l'équipement des exploitations peut être alors vu comme une réponse des agriculteurs à leur aversion au risque, et non comme une source d'amélioration de la productivité et de la performance économique (Sheng et al., 2016).

En outre, la politique fiscale peut inciter les exploitations qui affichent de bons résultats économiques à investir en matériel et à se suréquiper, afin de limiter le revenu fiscal, et ainsi diminuer le montant des cotisations sociales.

3.3. Partager le matériel ou déléguer les travaux pour réduire les coûts de mécanisation

Afin de réduire les coûts d'utilisation du matériel, notamment pour du matériel spécifique et performant dont l'agriculteur n'aurait pas souvent l'utilité, nombre d'agriculteurs adhèrent à des CUMA. Parmi les 66 exploitations de notre échantillon, ce ne sont ni les plus grandes, ni les plus diversifiées qui adhèrent à une CUMA, on retrouve l'exploitation moyenne. Les exploitations ayant le plus recours à une CUMA ont tendance à avoir des charges de mécanisations par ha de SAU plus élevées que les autres exploitations (même si cette tendance n'est pas significative). Ce résultat paraît surprenant, d'autant que lors d'entretiens, des agriculteurs ont affirmé qu'ils se regroupaient en CUMA dans le but de diminuer les coûts de mécanisation (Charleuf, 2018). Selon eux, l'avantage principal des CUMA est bien la diminution des coûts, l'amortissement du matériel étant réparti entre plusieurs adhérents et sur un plus grand nombre d'ha et/ou d'heures d'utilisation. Mais les CUMA permettent d'avoir du matériel plus puissant et performant que s'il était acheté en propre, l'investissement est donc plus important, de plus le matériel est renouvelé plus régulièrement d'où une durée d'amortissement relativement courte. Le matériel tracté (travail du sol, tonne à lisier, épandeur à fumier etc.) des CUMA est souvent de grande taille et/ou de grande capacité, ce qui nécessite une traction puissante et donc des tracteurs relativement chers. Nous avons vu que, pour les agriculteurs les plus utilisateurs de CUMA, les économies sur l'amortissement de leur matériel en propriété ne compensent pas les coûts de la CUMA. Certains agriculteurs ont des parts dans du matériel en CUMA tout en maintenant ce type matériel en propriété. Ils préfèrent avoir du matériel en double pour augmenter les chances d'effectuer le travail au moment opportun. Ce matériel en

doublon, même ancien, est souvent considéré comme « gratuit », alors qu'il génère des coûts (entretien, assurance, place de stockage).

La délégation des chantiers à des entreprises de travaux agricole peut être vue comme une perte d'autonomie d'action de l'exploitant, mais les agriculteurs faisant le plus appel à des ETA ont tendances à avoir des charges de mécanisation par ha parmi les plus faibles. Les agriculteurs enquêtés ont pourtant mentionné le coût des travaux faits par les ETA comme étant trop élevé (Charleuf, 2018). Les agriculteurs délèguent aux ETA principalement de gros chantiers, tels que des moissons ou ensilages, qui nécessitent du matériel spécifique puissant et performant, d'où des coûts élevés en valeur absolue. Mais ces coûts intègrent le matériel (amortissement et entretien), le carburant ainsi que la main-d'œuvre assurant son fonctionnement. Les agriculteurs déléguant aux ETA tout ou partie de leur chantier peuvent ainsi avoir une certaine « tranquillité d'esprit », et peuvent se concentrer sur d'autres tâches qu'ils jugent plus importantes pour eux.

Il apparaît que le poste de mécanisation, principal poste de dépenses dans les charges de structures, ne soit pas pleinement maîtrisé par les agriculteurs. Ils ne connaissent pas forcément le coût réel de la mécanisation sur leurs fermes, et les conséquences économiques de leurs choix stratégiques d'acquisition et d'utilisation du matériel. Il existe pourtant des outils d'analyse des besoins en équipement, de diagnostic du parc de matériel (CUMA, 2019), ainsi que des plateformes numériques proposant la location de matériel ou de prestations entre agriculteurs, de l'entraide, ou encore de l'échange de matériel.

Conclusion

Face à certaines impasses agronomiques de la spécialisation des systèmes de production agricole, et à leurs conséquences négatives sur l'économie de la production et sur l'environnement, la polyculture-élevage semble être un modèle vertueux à promouvoir. Cependant, il apparaît que la diversification des fermes d'élevage, que leur transition vers la PCE, s'accompagne irrémédiablement d'une augmentation de leur surface agricole. Le concept d'économie de gamme se heurte alors au fait que l'efficacité technique et économique des exploitations d'élevage est négativement corrélée à leur taille. Au final, nous n'observons pas de gains économiques sur les différents postes de charges, que ce soit à l'échelle de l'atelier de production animal qu'à l'échelle de l'exploitation, ni de différence significative sur le revenu par travailleur entre exploitations herbagères spécialisées et grandes exploitations de PCE. Il serait nécessaire de distinguer l'effet taille de l'effet diversification dans l'évolution et la comparaison des performances économiques des exploitations. Des méthodes de régressions seraient à explorer.

La diversification des ateliers de production dans les exploitations familiales nécessite de nouvelles connaissances et compétences de la part de l'exploitant, ainsi qu'une très bonne organisation dans le travail. Face à cette charge mentale et physique du travail, les éleveurs tendent à simplifier leurs pratiques, à se sur-mécaniser, d'où une baisse d'efficacité des systèmes. Si, dans le cadre de la transition agro-écologique, la PCE est un modèle de développement à promouvoir, il faut alors se poser la question de l'échelle et des structures dans lesquelles cette PCE peut être réellement un modèle durable.

Les structures familiales, modèle défendu et maintenu en France, deviennent certainement trop grandes pour qu'une même personne (ou un petit collectif de personnes) détienne le capital, prenne les décisions stratégiques et opérationnelles et réalise le travail. Dans le cadre de l'agrandissement des exploitations familiales, ne vaut-il pas mieux promouvoir des exploitations spécialisées, quitte à organiser des échanges entre exploitations spécialisées au sein d'un territoire ou d'une filière ? Ou bien conserver ce cadre familial, stopper l'agrandissement, voire re-diviser certaines structures, et diversifier les ateliers de production ? Enfin, quel avenir pour les grandes structures capitalistiques avec de la main-d'œuvre salariée formée et compétente ? Le modèle de développement actuel des exploitations d'élevage bovin viande montrant ses limites, des travaux sont nécessaires pour évaluer la multi-performance d'autres formes de structures et modèles de production.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet de recherche-développement PSDR4-Auvergne 2015-2019 new-DEAL (Diversité de l'Élevage en Auvergne : un Levier de durabilité pour la transition agroécologique), financé par l'INRA, Irstea et le Conseil régional d'Auvergne-Rhône-Alpes. Pour en savoir plus, <https://www.psd4-auvergne.fr/PSDR-4/Les-4-projets/new-DEAL>.

Références

- Asaia M., Moraine M., Ryschawy J., de Wit J., Hoshide A.K., Martin G., 2018. Critical factors for crop-livestock integration beyond the farm level: A cross analysis of worldwide case studies. *Land Use Policy* 73, 184-194.
- Aubron C., Noël L., Lasseur J., 2016. Labor as a driver of changes in herd feeding patterns: Evidence from a diachronic approach in Mediterranean France and lessons for agroecology. *Ecological Economics*, 127, 68-79.
- Bell LW, Moore AD, 2012. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. *Agricultural Systems*, 111, 1-12
- Bojnec S., Latruffe L., 2013. Farm size, agricultural subsidies and farm performance in Slovenia. *Land Use Policy* 32, 207- 217.
- Bowman M.S., Zilberman D., 2013. Economic factors affecting diversified farming systems. *Ecology and Society* 18(1):33.
- Charleuf M., 2018. Relation taille-travail-spécialisation-équipement (mécanisation) : avantages et particularités des systèmes en polyculture-élevage. Mémoire de fin d'études, AgroCampus Ouest, INRA, 39p.
- Chavas J.P., 2008. On the economics of agricultural production. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 52, 365-380.
- CUMA, 2019. <http://www.cuma.fr/france/content/diagnostic-de-mecanisation-mecagest-pro-mecaflash>. Site consulté le 21 août 2109.
- Duffy M., 2009. Economies of size in production agriculture. *Journal of Hunger & Environmental Nutrition* 4, 375-392.
- Garnier J., Anglade J., Benoit M., Billen G., Puech T., Ramarson A., Passy P., Silvestre M., Lassaletta L., Trommenschlager J.M., Schott C., Tallec G., 2016. Reconnecting crop and cattle farming to reduce nitrogen losses to river water of an intensive agricultural catchment (Seine basin, France): past, present and future. *Environmental Science & Policy* 63, 76-90.
- Garrett R.D., Niles M.T., Gil J.D.B., Gaudin A., Chaplin-Kramer R., Assmann A., Assmann T.S., Brewer K., de Faccio Carvalho P.C., Cortner O., Dynes R., Garbach K., Kebreab E., Mueller N., Peterson C., Reis J.C., Snow V., Valentim J., 2017a. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: Current knowledge and remaining uncertainty. *Agricultural Systems* 155, 136-146.
- Garrett R.D., Niles M., Gil J., Dy P., Reis J., Valentim J., 2017b. Policies for reintegrating crop and livestock systems: A comparative analysis. *Sustainability* 9, 473, 22p.
- Institut de l'Élevage, 2010. Calculer les coûts de production en élevage bovins viande. Méthode nationale développée par l'Institut de l'Élevage dans le cadre du dispositif Réseaux d'Élevage. Réseaux d'élevage pour le conseil et la prospective, collection Théma, 8p
- Hendrickson J.R., Hanson J.D., Tanaka D.L., Sassenrath G.F., 2008. Principles of integrated agricultural systems: Introduction to processes and definition. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 23, 265-271.

Hirschler J., Stark F., Gourlaouen Y., Perrot C., Dubosc N., Ramonteu S., 2019. Evolution des systèmes de polyculture-élevage : une rétrospective statistique 2007-2014. *Innovations Agronomiques*, 72, 193-209.

Latruffe L., Piet L., 2014. Does land fragmentation affect farm performance? A case study from Brittany, France. *Agricultural Systems*, 129, 68-80

Lemaire G., Franzluebbbers A., de Faccio Carvalho P.C., Dedieu B., 2014. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 190, 4-8

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.

Martin G., Moraine M., Ryschawy J., Magne M.A., Asai M., Sarthou J.P., Duru M., Therond O., 2016. Crop-livestock integration beyond the farm level: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 36:53

Mosheim R., Lovell K.C.A, 2009. Scale economies and inefficiency of U.S. dairy farms. *Amer. J. Agr. Econ.*, 91, 777-794.

Panzar J.C., Willig R.D., 1981. Economies of scope. *American Economic Review* 71, 268-272.

Perrot C., Caillaud D., Chambaut H., 2013. Économies d'échelle et économies de gamme en production laitière. Analyse technico-économique et environnementale des exploitations de polyculture-élevage. *Notes et études socio-économiques*, 37, 7-32.

Peyraud J.L., Taboada M., Delaby L., 2014. Integrated crop and livestock systems in Western Europe and South America: A review. *Europ. J. Agronomy* 57, 31-42

de Roest K., Ferrari P., Knickel K., 2018. Specialisation and economies of scale or diversification and economies of scope? Assessing different agricultural development pathways. *Journal of Rural Studies* 59, 222-231.

Rose D.C., Sutherland W.J., Barnes A.P., Borthwick F., Ffoulkes C., Hall C., Moorby J.M., Nicholas-Davies P., Twining S., Dicks L.V., 2019. Integrated farm management for sustainable agriculture: Lessons for knowledge exchange and policy. *Land Use Policy* 81, 834-842.

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.

Salton J.C., Mercante F.M., Tomazi M., Zanatta J.A., Concenço G., Silva W.M., Retore M., 2014. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 190, 70-79

Sheng Y., Davidson A., Fuglie K., Zhang D., 2016. Input substitution, productivity performance and farm size. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 60, 327-347.

Tauer L.W., Mishra A.K., 2006. Can small dairy farm remain competitive in US agriculture? *Food Policy*, 31, 458-468.

Veysset P., Lherm M., Bébin D., Roulen M., 2014a. Mixed crop-livestock farming systems: a sustainable way to produce beef? Commercial farms results, questions and perspectives. *Animal* 8, 1218-1228.

Veysset P., Benoit M., Laignel G., Bébin D., Roulen M., Lherm M., 2014b. Analyse et déterminants de l'évolution des performances d'élevages bovins et ovins allaitants en zones défavorisés de 1990 à 2012. *INRA Productions animales* 27, 49-64.

Veysset P., Lherm M., Roulen M., Troquier C., Bébin D., 2015. Productivity and technical efficiency of suckler beef production systems: trends for the period 1990 to 2012. *Animal* 9, 2050-2059

Veysset P., Lherm M., Boussemart J.P., Natier P., 2019. Generation and distribution of productivity gains in beef cattle farming: Who are the winners and losers between 1980 and 2015? *Animal* 13, 1063-1073.