Mixed crop-livestock farm : definitions and research issues

Julie Ryschawy, Alexandre Joannon, Annick Gibon

▶ **To cite this version:**

Julie Ryschawy, Alexandre Joannon, Annick Gibon. Mixed crop-livestock farm : definitions and research issues: A review. Cahiers Agricultures, 2014, 23 (6), pp.346-356. 10.1684/agr.2014.0727 . hal-01210113

HAL Id: hal-01210113
https://hal.science/hal-01210113

Submitted on 27 May 2020

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

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

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

L'exploitation de polyculture-élevage : définitions et questions de recherche. Une revue

Julie Ryschawy[1,2,3]
Alexandre Joannon[4]
Annick Gibon[2]

[1] Université Toulouse
INPT ENSAT
UMR1248 AGIR
Avenue de l'Agrobiopole
31326 Castanet-Tolosan
France
<julie.ryschawy@toulouse.inra.fr>

[2] INRA
UMR 1201 DYNAFOR
Chemin de Borderouge
31324 Castanet-Tolosan
France
<annick.gibon@toulouse.inra.fr>

[3] INRA
UMR 1248 AGIR
Chemin de Borderouge
F-31324 Castanet-Tolosan
France

[4] UR SAD PAYSAGE
Agrocampus Ouest
65, rue de Saint-Brieuc
35042 Rennes
France
<alexandre.joannon@rennes.inra.fr>

Tirés à part : J. Ryschawy

doi: 10.1684/agr.2014.0727

Résumé

Depuis deux décennies, la littérature scientifique témoigne d'un renouveau d'intérêt pour les systèmes associant les productions végétales et animales. Dans les pays du Nord, les exploitations de polyculture-élevage y ont néanmoins été marginalisées. Les avantages économiques et environnementaux potentiels de ce type de système de production sont supposés répondre à une partie des crises environnementales attribuées à l'agriculture spécialisée. Selon les niveaux d'intégration entre les ateliers d'élevages et de cultures, les exploitations de polyculture-élevage sont toutefois plus ou moins à même de répondre aux défis actuels de durabilité de l'agriculture. Le concept de « polyculture-élevage » recouvre en effet une large diversité d'agricultures à travers le monde. Cette revue bibliographique porte sur les définitions proposées et les enjeux considérés selon les contextes d'étude, avant d'aborder les questions de recherche sur l'exploitation de polyculture-élevage. Les travaux récents sont globalement focalisés sur les flux de matière entre cultures et élevages au sein de l'agrosystème ou au niveau de l'exploitation. L'association de cultures et d'élevage dite de « polyculture-élevage » y est étudiée avant tout selon des approches techniques et économiques. Les décisions et pratiques des agriculteurs y sont encore peu prises en compte. Pour permettre une réelle réflexion sur les systèmes de polyculture-élevage, la recherche devra poursuivre ses efforts pour en préciser les définitions selon les niveaux d'intégration entre élevages et cultures. Des approches systémiques combinant différentes disciplines et échelles d'analyse seront indispensables pour repositionner les exploitations de polyculture-élevage comme voie de développement durable. Des incitations politiques spécifiques intégrant ces visions systémiques seront nécessaires au développement d'exploitations, au sein desquelles les synergies entre élevage et cultures pourront s'exprimer.

Mots clés : développement durable ; exploitation agricole ; polyculture-élevage ; système d'exploitation agricole.

Thèmes : productions végétales ; productions animales.

Abstract

Mixed crop-livestock farm: definitions and research issues. A review

For two decades, mixed crop-livestock farms have once again been attracting worldwide interest, in particular in the northern hemisphere, where mixed crop-livestock farms have been decreasing. As they are considered to be a good way of limiting environmental problems while being productive and economically viable, mixed crop-livestock systems could be a way to tackle environmental challenges linked to specialised agriculture. The definition of mixed crop-livestock farming nevertheless includes many different types of farming around the world. According to the level of interactions between livestock and crops within farm, mixed crop-livestock farms could be more or less able to meet sustainability challenges. The research works reviewed are mostly focused on biophysical flows between crops and livestock within farms. Farmers' decisions and practices are not taken into account in these works. Mixed crop-livestock studies are based mainly on technical or economic arguments, or on contrasted case studies of the southern hemisphere. Systemic approaches are needed to allow a rethink of the way in

Pour citer cet article : Ryschawy J, Joannon A, Gibon A, 2014. L'exploitation de polyculture-élevage : définitions et questions de recherche. Une revue. *Cah Agric* 23 : 346-356. doi : 10.1684/agr.2014.0727

which mixed crop-livestock farming could contribute to sustainable development. To limit misunderstanding, the definition of mixed crop-livestock systems should better explained in research studies on the topic, in particular the level of integration between crops and livestock considered. Specific political incentives would be needed to develop and maintain mixed crop-livestock systems, especially in the northern hemisphere.

Key words: farm; farming systems; mixed farming; sustainable development.

Subjects: vegetal productions; animal productions.

La modernisation de l'agriculture a conduit, sous l'influence des marchés mondiaux et des politiques publiques, à la spécialisation des systèmes de production agricoles (Chatellier *et al.*, 2009). Les impacts négatifs de ce modèle de développement sont aujourd'hui largement informés, en particulier au plan environnemental (Hendrickson *et al.*, 2008). L'exploitation de polyculture-élevage, qui avait été fortement marginalisée dans les pays du Nord, est actuellement vue comme une alternative prometteuse à la spécialisation (Russelle *et al.*, 2007 ; Wilkins, 2008). Associer productions animales et végétales conférerait une « éco-efficience » aux exploitations (Wilkins, 2008), c'est-à-dire une efficience économique et écologique. Les complémentarités entre élevage et cultures, via notamment le cycle des nutriments, limiteraient les pertes d'azote, de phosphore et de carbone vers l'environnement (Hendrickson *et al.*, 2008 ; Lemaire *et al.*, 2013). Ceci contribuerait à réduire l'usage des intrants chimiques tout en permettant une agriculture productive et économiquement viable.

Dans cet article, nous dressons un aperçu des définitions existantes de l'exploitation de polyculture-élevage à travers le monde en nous basant sur des synthèses bibliographiques et quelques articles originaux. Nous nous focalisons ici sur l'échelle de l'exploitation, bien que certains cadres conceptuels évoqués soient pertinents à une échelle territoriale (Moraine *et al.*, 2012). Nous précisons ensuite les effets positifs attendus des exploitations de polyculture-élevage. Nous examinons enfin comment la recherche actuelle, principalement en France et en Europe, étudie les exploitations de polyculture-élevage.

L'exploitation de polyculture-élevage : un large panel de système de production

Une définition agronomique de l'exploitation de « polyculture-élevage »

L'association de cultures et d'élevage a été rarement définie par la recherche et en aucun cas de manière consensuelle. Le terme « polyculture-élevage » est défini comme : « l'association de cultures et élevage dans un cadre coordonné, le plus souvent à l'échelle de l'exploitation agricole, bien que l'association puisse être considérée aussi au niveau territorial » (van Keulen et Schiere, 2004). Cette définition est adoptée non seulement par de nombreux agronomes à travers le monde (Schiere *et al.*, 2002 ; Powell *et al.*, 2004) mais aussi par des économistes (Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008).

Cette définition intègre un large panel d'exploitations, plus ou moins à même de répondre aux enjeux de durabilité, selon les niveaux d'intégration entre leurs ateliers d'élevages et de cultures. Cette définition nous apparaît donc trop large pour être opérationnelle. Ainsi, des exploitations dont l'activité principale est l'élevage bovin laitier et qui favorisent l'intégration entre élevage et cultures sont considérées comme de polyculture-élevage (Coquil *et al.*, 2013). Néanmoins, des exploitations produisant conjointement des produits animaux et végétaux sous la forme d'ateliers juxtaposés, avec peu de coordination entre élevage et cultures, entrent elles aussi dans cette définition de l'exploitation de polyculture-élevage (Perrot *et al.*, 2012).

La bibliographie anglophone européenne utilise le terme de « systèmes mixtes » (*mixed crop-livestock systems* - Gibon *et al.*, 2011), pour désigner une association entre cultures et élevage sur l'exploitation. La bibliographie Nord-américaine parle plutôt de « systèmes intégrés » (*integrated crop-livestock systems* - Hendrickson *et al.*, 2008), en référence à des niveaux d'intégration entre cultures et élevage. Dans les deux cas, les niveaux de coordination restent implicites.

Des définitions économiques ne prenant pas en compte les coordinations entre cultures et élevage

La prise en compte de la dimension économique des différents ateliers permet de préciser la définition de l'exploitation de polyculture-élevage en ne considérant que les exploitations commercialisant des produits végétaux et des produits animaux : elle exclut les systèmes d'élevage ne vendant que des produits animaux, et éventuellement des surplus de cultures non utilisés en interne pour l'alimentation animale. Allier cultures et élevage est en effet reconnu pour sécuriser l'exploitation par rapport aux fluctuations des marchés agricoles (Vermersch, 2007 ; Bell et Moore, 2012). La définition proposée par les services français de statistiques agricoles (Agreste, 2009) prend peu en compte l'intérêt de la diversification du point de vue économique. Une exploitation est classée dans une orientation technico-économique des exploitations (OTEX) spécialisée si sa production brute standard (PBS) dans la production concernée dépasse deux tiers du total. Ainsi, l'OTEX « polyculture et polyélevage » regroupe les

exploitations non spécialisées, c'est-à-dire dont le produit brut n'est pas lié à une production particulière, sans préjuger du niveau d'intégration entre élevage et cultures.

Pour Seré *et al.* (1996), les exploitations de polyculture-élevage sont « des systèmes d'élevage dans lesquels au moins 10 % de la matière sèche pour l'alimentation animale provient de coproduits végétaux de l'exploitation, ou plus de 10 % de la valeur des produits provient d'activités agricoles non liées à l'élevage ». Cette définition qui couple des bases agronomiques et économiques est largement reprise dans la bibliographie internationale (Thornton et Herrero, 2001 ; Devendra et Thomas, 2002 ; Schiere *et al.*, 2002). Le seuil retenu (10 %) est très bas, il est critiquable car une exploitation de polyculture-élevage dont 10 % du produit brut provient des cultures de vente peut changer de catégorie d'une année sur l'autre en fonction des fluctuations des prix de vente des céréales ou d'aléas climatiques limitant leurs rendements, sans avoir pour autant changé de stratégie.

Des classifications plus précises des exploitations de polyculture-élevage ont été proposées. Schiere *et al.* (2002) et Herrero *et al.* (2010) classent les systèmes mixtes selon la définition de Seré *et al.* (1996) en fonction de leur niveau d'intensification. Schiere *et al.* (2002) prennent en considération trois grands facteurs de production : travail, terre et capital. Cette méthode de classification permet d'analyser la pertinence des exploitations de polyculture-élevage existantes vis à vis de leur environnement économique et biophysique.

Des cadres conceptuels systémiques pour préciser les niveaux d'intégration/coordination entre élevage et cultures

Schiere *et al.* (2002) ont souligné la dimension fonctionnelle de l'exploitation de polyculture-élevage en précisant que « dans la plupart des systèmes de polyculture-élevage, les productions secondaires ou sous-produits d'un atelier servent de ressource à un autre ». Les effluents d'élevage sont utilisés pour fertiliser les sols et améliorer ainsi la productivité des cultures, tandis que les coproduits de cultures servent à alimenter les troupeaux. Ces auteurs appréhendent les niveaux d'intégration entre élevage et cultures par des flux de matières entre système technique de culture et système technique d'élevage. Dans la *figure 1*, les flux de matière sont schématisés par des flèches. Bonaudo *et al.* (2014) ont proposé une représentation dans laquelle la taille variable des flèches permet de représenter l'intensité de l'intégration entre élevage et cultures, notamment sur les niveaux d'intrants, de pertes, d'échanges entre ateliers d'élevage et de cultures. Dans des exploitations de polyculture-élevage où la coordination entre élevage et cultures est maximale, les flèches seront de taille importante entre les ateliers ; elles seront en revanche petites ou absentes dans le cas d'ateliers juxtaposés qui feront surtout appel à des intrants achetés.

Moraine *et al.* (2012) proposent un cadre conceptuel où le système de polyculture-élevage est vu comme un système socioécologique dont l'objectif est de décrire le niveau d'interactions spatio-temporelles entre cultures et élevage. Ce cadre peut s'appliquer à différentes échelles, à une exploitation ou un petit territoire. Le sous-système écologique est composé de trois entités clefs, appelées sphères : les cultures, les prairies, les animaux. Dans la schématisation graphique (*figure 2*), l'importance des zones de recouvrement entre sphères représente le niveau d'interactions entre entités (ex. prairies en rotation avec les cultures). Dans le sous-système social, les agriculteurs déterminent, en lien avec les acteurs des filières et de la gestion des ressources naturelles et par leurs pratiques agricoles, les modalités d'utilisation des sphères écologiques à dimension spatiale (cultures et prairies) et leurs interactions avec les animaux. Ces dernières peuvent être soit directes (présence des animaux sur les surfaces), soit indirectes (ex. épandage d'effluent d'élevage). Dans cette représentation, les interactions temporelles (ex. rotations au sein d'un système de polyculture-élevage) sont explicitement considérées. Ce cadre conceptuel permet à ses auteurs de classer les exploitations de polyculture-élevage selon les niveaux d'intégration élevage/cultures : depuis des systèmes de simple coexistence d'ateliers interagissant via le marché, jusqu'à des systèmes maximisant les synergies entre cultures et élevage à l'échelle d'une exploitation ou d'un territoire. Ces interactions synergétiques sont raisonnées dans le temps et dans l'espace.

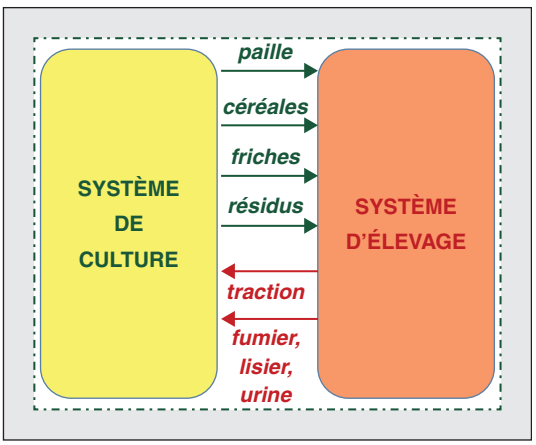

Figure 1. Diagramme de flux dans une exploitation de polyculture-élevage (adapté de Schiere *et al.*, 2002).

Figure 1. Flow diagram in a mixed crop-livestock system (adapted from Schiere *et al.*, 2002).

Les avantages comparatifs attendus de l'exploitation de polyculture-élevage

Les exploitations de polyculture-élevage sont surtout présentes dans

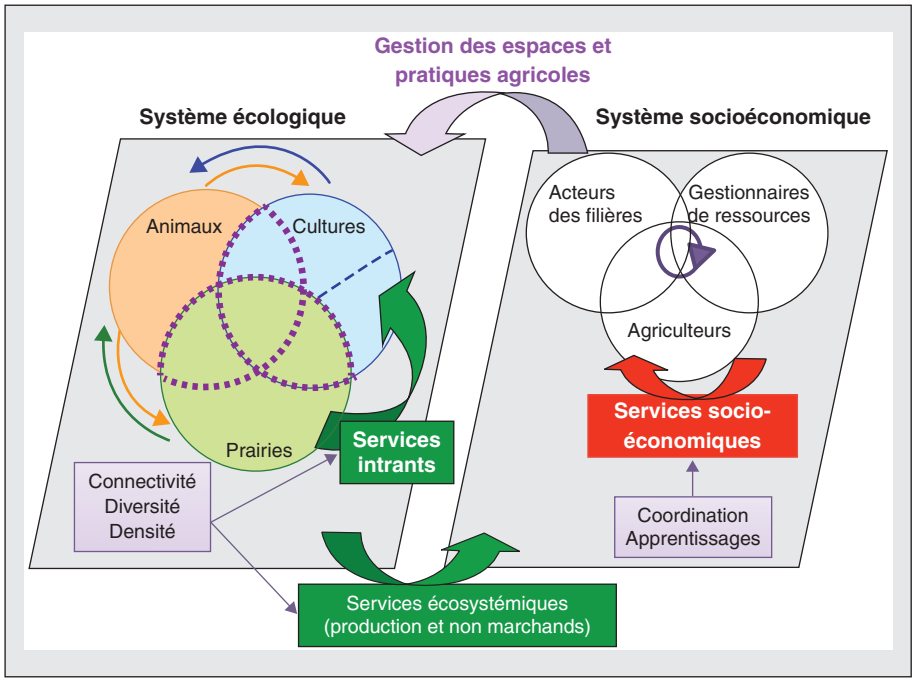

Figure 2. Représentation conceptuelle des coordinations dans un système de polyculture-élevage (d'après Moraine *et al.*, 2012).

Figure 2. Conceptual framework of the interactions in a mixed crop-livestock system (Moraine *et al.*, 2012).

les pays en développement, où elles constituent actuellement l'une des formes prédominantes d'agriculture, possédant globalement plus de bétail et employant plus de main-d'œuvre que les exploitations spécialisées en élevage (Thornton *et al.*, 2010). Les exploitations de polyculture-élevage sont dominantes dans trois grandes zones du monde en développement (Schiere *et al.*, 2002) : l'Afrique subsaharienne, l'Asie du Sud-Est et, dans une moindre mesure, l'Amérique du Sud. Dans les pays du Nord, en revanche, les incitations de la PAC (politique agricole commune) et des marchés combinées à une diminution de la main-d'œuvre agricole ont largement marginalisé les exploitations de polyculture-élevage en les poussant vers la spécialisation. La localisation des systèmes de polyculture-élevage dans des contextes sociaux, géopolitiques et pédoclimatiques contrastés conduit à des problématiques de développement différentes entre les polycultures-élevages des pays du Nord et des pays du Sud (Schiere *et al.*, 2002).

Des attendus communs à toutes les situations

Bien qu'il existe une très large diversité d'exploitations de polyculture-élevage dans le monde, certains effets positifs de la combinaison de cultures et d'élevage pour une durabilité environnementale et économique sont cités pour toutes les zones (*tableau 1*).

Au plan environnemental, associer cultures et élevage à l'échelle de l'exploitation permet de contribuer au maintien de la biodiversité locale, grâce au maintien de prairies et de haies favorables à la biodiversité végétale et à celui d'une hétérogénéité des paysages favorable à l'avifaune ou à certains auxiliaires des cultures (Devendra et Thomas, 2002 pour l'Asie ; Powell *et al.*, 2004 pour l'Afrique ; Hendrickson *et al.*, 2008 pour les pays du Nord ; ou encore Siegmund-Schultze *et al.*, 2010 pour l'Amérique du Sud). Associer cultures et élevage favorise aussi la fertilité des terres sur le moyen terme, grâce au maintien du taux de matière organique (via la fumure organique ou le maintien de prairies stockant du carbone (Landais et Lhoste, 1993 ; Russelle *et al.*, 2007)). Le bilan de l'azote des agrosystèmes est aussi amélioré par l'usage de légumineuses fourragères et l'épandage des effluents d'élevage sur les surfaces cultivées (Devendra et Thomas, 2002 en Asie ; Lenné and Thomas, 2006 en Afrique subsaharienne ; Franzluebbers et Stuedemann, 2007 aux Etats-Unis ; Wilkins, 2008 pour l'Europe).

Au plan économique, l'exploitation de polyculture-élevage bénéficie d'une certaine flexibilité. La coordination des cultures et de l'élevage peut permettre d'accéder à une certaine autonomie du système technique et une moindre dépendance aux marchés des intrants (engrais, produits phytosanitaires et concentrés) selon les choix des cultures et de leurs successions. L'association de plusieurs ateliers aux débouchés diversifiés offre une moindre sensibilité aux fluctuations des prix des produits et des intrants (engrais minéraux et aliments du bétail principalement – Ryschawy *et al.*, 2012). L'élaboration conjointe de diverses productions permet de réaliser des économies de gamme, en particulier sur le matériel ou la main-d'œuvre qui peuvent être partagés entre différents ateliers (Devendra et Thomas, 2002 ou Dufumier, 2006 pour les pays du Sud ; Russelle *et al.*, 2007 ; Vermersch, 2007 pour les pays du Nord).

La diversification confère ainsi aux exploitations de polyculture-élevage une certaine résilience via leur capacité à développer des pratiques permettant de « tamponner » les aléas. Par exemple, l'utilisation de cultures à double fin, comme le choix d'une variété de maïs pouvant être récoltée en grain ou en vert pour l'ensilage, peut avoir un rôle tampon en cas de fluctuations des prix de vente ou d'aléas climatiques mettant en péril l'autonomie alimentaire des troupeaux (Powell *et al.*, 2004 ; Thornton *et al.*, 2010 pour les pays du Sud ; Veysset *et al.*, 2005 ; Wilkins, 2008 pour les pays du Nord).

Des attendus environnementaux importants dans les pays du Nord

Dans les pays du Nord, l'accent est clairement mis sur le potentiel des

Tableau 1. Principaux effets positifs attendus de l'association polyculture-élevage.

Table 1. Main positive effects of mixed crop-livestock.

Dimension	Objectifs assignés à la polyculture-élevage	Pays du Nord	Pays du Sud
Sociale	Mieux valoriser les ressources : travail, terre, capital	Schiere *et al.*, 2002 ; Hendrickson *et al.*, 2008	Devendra et Thomas, 2002 ; Dugué *et al.*, 2004 ; Powell *et al.*, 2004
	Assurer le plein-emploi de la main-d'œuvre familiale et un revenu suffisant	Franzluebbers et Stuedemann, 2007 ; Hendrickson *et al.*, 2008	Devendra et Thomas, 2002 ; Powell *et al.*, 2004 ; Le Gal *et al.*, 2011
	Réduire la pénibilité du travail en valorisant l'énergie animale (traction animale)		Dugué *et al.*, 2004
Économique	Diversifier les productions pour sécuriser le revenu de l'exploitation	Russelle *et al.*, 2007 ; Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008	Devendra et Thomas, 2002
	Améliorer la qualité et la quantité de produits obtenus	Wilkins, 2008 ; Coquil *et al.*, 2009	Devendra et Thomas, 2002 ; Lenné et Thomas, 2006
	Minimiser l'usage des intrants et favoriser l'autonomie	de Wit J. *et al.*, 2006 ; Russelle *et al.*, 2007 ; Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008 ; Coquil *et al.*, 2009	
Environnementale	Préserver les ressources naturelles (eau, sol, biodiversité) et les prairies naturelles	Russelle *et al.*, 2007 ; Hendrickson *et al.*, 2008	Devendra et Thomas, 2002 ; Swinton et Quiroz, 2003 ; Powell *et al.*, 2004 ; Siegmund-Schultze *et al.*, 2010
	Améliorer les rotations culturales et les complémentarités entre élevage et culture	Entz *et al.*, 2002 ; Franzluebbers et Stuedemann, 2007 ; Russelle *et al.*, 2007 ; Khakbazan *et al.*, 2009	Devendra et Thomas, 2002 ; Lenné *et al.*, 2003
	Minimiser les excès d'effluents d'élevage	Schiere *et al.*, 2002 ; Russelle *et al.*, 2007	

exploitations de polyculture-élevage à résoudre des questions environnementales, comme la pollution par les nitrates dans des zones spécialisées en élevage et à forte densité animale (Peyraud *et al.*, 2012). En optimisant le recyclage des nutriments au sein des systèmes de production par le calibrage des surfaces d'épandage, les exploitations de polyculture-élevage peuvent mieux gérer les ressources organo-minérales au sein des agrosystèmes pour limiter les apports d'engrais minéraux et les pertes de nitrates (van Keulen and Schiere, 2004). La présence de prairies permanentes pâturées par des ruminants dans les exploitations de polyculture-élevage peut contribuer, sous réserve de conduite adaptée, à la production de biomasse fourragère tout en limitant l'érosion des sols, les lessivages d'azote et les achats d'aliments concentrés (Huyghes, 2009).

Néanmoins, gérer une exploitation de polyculture-élevage nécessite une main-d'œuvre importante (Bell et Moore, 2012), de plus en plus coûteuse et de moins en moins disponible en Europe. Ainsi, les exploitations de polyculture-élevage sont confrontées en Europe à des besoins de simplification des pratiques ou de mécanisation accrue. Les exploitations de polyculture-élevage exigent de plus un capital important, de part leur surface et l'investissement dans le matériel et le cheptel. Ceci entraîne des difficultés de transmission des exploitations, y compris pour les agriculteurs ayant adopté des trajectoires favorables à un maintien des systèmes de polyculture-élevage (Ryschawy *et al.*, 2012).

Les logiques d'économies d'échelles, promues par la PAC et les marchés agricoles vont à l'encontre de l'intégration entre élevage et cultures et poussent plutôt à leur déconnexion (Vermersch, 2007). Ceci peut expliquer le développement, dans des contextes pédoclimatiques favorables, d'exploitations de polyculture-élevage dont les ateliers sont peu coordonnés : chaque atelier est intensifié avec une logique d'agrandissement et d'augmentation des rendements et bénéficie de subventions importantes de la PAC. Malgré les incitations à la spécialisation, des stratégies maximisant la diversification des ateliers et/ou

l'autonomie en intrants ont en revanche permis en Europe le maintien d'exploitations de polyculture-élevage dans des zones défavorisées, où le contexte pédoclimatique s'opposait à la spécialisation (Ryschawy *et al*., 2013).

L'importance des attendus économiques concernant la polyculture-élevage du Sud

Au Sud, l'augmentation de la production agricole régionale reste une préoccupation majeure (Dugué *et al*., 2004). L'exploitation de polyculture-élevage est dès lors vue comme une voie d'intensification technique pour améliorer le revenu des agro-éleveurs en limitant l'achat d'intrants (Landais et Lhoste, 1990). Dans un contexte de main-d'œuvre disponible mais de rareté des capitaux permettant d'accéder à la technologie, l'accent est alors plutôt mis sur l'amélioration de la gestion de la fumure et l'intérêt de la traction animale. Les deux contraintes les plus courantes sont le manque de terre et la dégradation des sols (ex. érosion, lixiviation) accentuée par la faible capacité des agriculteurs à acheter des engrais minéraux pour fertiliser leurs sols (Swinton et Quiroz, 2003). Landais et Lhoste (1993) proposaient déjà d'approfondir l'étude de la gestion technique de la fumure animale dans des systèmes de polyculture-élevage africains pour en améliorer l'efficacité. La valorisation de l'exploitation de polyculture-élevage s'est heurtée aussi à des contraintes sociales et économiques qui en font, selon Landais et Lhoste (1990), un « mythe techniciste », le modèle technique ne prenant pas en compte des concurrences possibles entre élevage et cultures (ex. pour la main-d'œuvre) ou des relations de complémentarités économiques.

Dans les pays du Sud, l'intensification fondée sur la polyculture-élevage est aussi supposée capable d'offrir le plein-emploi de la main-d'œuvre agricole familiale au sein des exploitations, en diversifiant les ateliers de production (petits et gros élevages) ou en développant des systèmes très intégrés sur de petites surfaces (maraîchage basé sur la fumure animale pour limiter les charges en engrais minéraux, association pisciculture/porc/maraîchage pour maximiser les recyclages - Devendra et Thomas, 2002 ; Thornton *et al*., 2010). Sraïri (2005) souligne le fait que nombre d'agriculteurs des pays du Sud aspirent à un certain pouvoir d'achat et que la faible rémunération de l'agriculture les pousse à se tourner vers d'autres secteurs d'activité voire à l'exode rural ou l'immigration. Si leur choix est de rester dans le secteur agricole, ils souhaitent simplifier leurs systèmes de production, et s'ils en ont les moyens, recourir à la motorisation ou à la spécialisation, ce qui les éloigne de la polyculture-élevage (Dugué *et al*., 2012).

Diversité de postures et des questions de recherche

Des recherches essentiellement disciplinaires sur les systèmes techniques de production

Si la conduite et la durabilité des exploitations de polyculture-élevage soulèvent une large gamme de questions, les efforts de recherche pour les aborder sont très limités, en particulier dans les pays du Nord (Tanaka *et al*., 2007). L'exploitation de polyculture-élevage a en effet été peu étudiée dans les pays du Nord, où recherche et conseil se sont longtemps focalisés sur l'intensification de la production agricole basée sur des économies d'échelle et donc une spécialisation des exploitations (Vermersch, 2007 ; Wilkins, 2008). La plupart des travaux de recherche répertoriés dans la littérature scientifique portent sur des questions très ciblées au niveau des systèmes techniques de production, comme l'amélioration génétique de cultures à double fin pour une meilleure productivité des cultures (Zerbini and Thomas, 2003) ou encore l'évaluation des effets de l'urine sur les propriétés des sols et sur la culture de millet (Powell et Williams, 1995) (*tableau 2*). L'optimisation du cycle des nutriments est particulièrement renseignée en ce qui concerne les questions de limitation des fuites azotées, de recyclage du phosphore ou l'enrichissement du sol en matière organique (Peyraud *et al*., 2012 ; Lemaire *et al*., 2013). Les recherches sont disciplinaires et inscrites dans le champ des sciences du sol, de l'agronomie ou de la zootechnie. Les analyses se basent sur des statistiques descriptives ou de la modélisation à partir de données issues d'expérimentation ou d'observations de terrain (Lenné *et al*., 2003). Elles n'abordent en général pas la logique de fonctionnement des systèmes de production en intégrant les connaissances des différentes disciplines.

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

Dans les pays du Sud, les chercheurs étudient les exploitations de polyculture-élevage en vue de proposer des innovations techniques améliorant leurs performances technico-économiques par une intensification raisonnée ou acceptable pour des agriculteurs pauvres. Les travaux portent principalement sur des problématiques biophysiques visant à améliorer la productivité des systèmes techniques des exploitations de polyculture-élevage soit du point de vue des cultures (Powell et Williams, 1995 en Afrique subsaharienne ; Zerbini et Thomas, 2003 en Amérique latine), soit du point de vue de l'élevage (Thornton et Herrero, 2001 en Afrique subsaharienne ; Devandra et Thomas, 2002 en Asie du Sud-Est ; Siegmund-Schultze *et al*., 2010 en Amérique du Sud).

Rares sont les travaux associant les agriculteurs aux processus de diagnostic et d'amélioration. Stürr *et al*. (2002) insistent néanmoins sur l'importance d'intégrer des agriculteurs familiaux à la conception de nouveaux systèmes de production, plutôt que de leur proposer des paquets technologiques, souvent éloignés de leurs connaissances et capacités de financement. Par exemple, pour Le Gal *et al*. (2011), des enquêtes sur les pratiques et la mise au point de démarches d'accompagnement des agriculteurs sont indispensables pour le développement des exploitations de polyculture-élevage des pays du Sud. Pour Thornton et Herrero (2001), de tels travaux mèneraient à une plus large adoption de techniques permettant l'intensification souhaitée de la production, l'implication des acteurs afin d'accroître les chances d'élaborer des innovations pertinentes.

Tableau 2. Principales questions de recherche et méthodologies pour répondre aux enjeux des systèmes de polyculture-élevage.

Table 2. Main questions and methodologies developed by research to meet worldwide challenges on mixed crop-livestock farming.

Échelle considérée	Champ méthodologique	Thématique abordée	Référence considérée	Objectif principal	Localisation	Discipline	Méthode de collecte des données	Méthode d'analyse des données
Exploitation de polyculture-élevage	Évaluation/ compréhension de l'existant	Fonctionnement socio-technique	Choisis *et al.*, 2010	Évaluer le fonctionnement des exploitations	Nord (France)	Zootechnie Écologie Anthropologie	Enquêtes	Statistiques multivariées
			Ryschawy *et al.*, 2013	Comprendre les conditions de maintien des exploitations	Nord (France)	Zootechnie Agronomie	Enquêtes	Statistiques multivariées
		Cycle des nutriments	Swinton et Quiroz, 2003	Évaluer les liens entre pauvreté et dégradation des sols	Sud (Amérique latine)	Science du sol	Observations de terrain	Régression inéaire
			Veysset et Bébin, 2006	Évaluation de l'autonomie azotée	Nord (France)	Économie	Enquêtes	Modélisation (Prog. Linéaire)
			Vayssières *et al.*, 2009	Modéliser les flux de nutriments	Sud (Réunion)	Zootechnie	Enquêtes Observations de terrain	Modélisation
		Durabilité économique et environnementale	Ryschawy *et al.*, 2012	Évaluer la durabilité économique et environnementale des exploitations	Nord (France)	Zootechnie Agronomie	Enquêtes	Statistiques descriptives
	Conception/ Évaluation d'innovations	Fonctionnement socio-technique	Le Gal *et al.*, 2011	Aider les agriculteurs à concevoir des systèmes innovants	Sud (Madagascar)	Agronomie	Enquêtes	Modélisation (simulation de scénarios)
			Ryschawy, 2012 Ryschawy *et al.*, 2014	Co-conception de scénarios innovants pour maintenir une polyculture-élevage durable	Nord (France)	Agronomie Zootechnie	Enquêtes	Modélisation (simulation de scénarios) Conception participative des scénarios
		Coordinations cultures-élevage	Coquil *et al.*, 2013	Renforcement des interfaces cultures/élevage	Nord (France)	Zootechnie Ergonomie	Enquêtes	Analyse de discours
			Siegmund-Schultze *et al.*, 2010	Évaluer l'intérêt de bovins dans des petites exploitations d'autosubsistance	Sud (Amérique latine)	Économie	Enquêtes	Statistiques quantitatives
			Stür *et al.*, 2002	Développer des stratégies d'utilisation des fourrages en partenariat avec les agriculteurs	Sud (Asie du Sud)	Agronomie Zootechnie	Enquêtes et réunions collectives de partenariat	Évaluation participative

Tableau 2. (*Suite*)

Échelle considérée	Champ méthodologique	Thématique abordée	Référence considérée	Objectif principal	Localisation	Discipline	Méthode de collecte des données	Méthode d'analyse des données
		Sensibilité à des modifications des politiques agricoles	Veysset *et al.*, 2005	Adaptation des systèmes avec bovins allaitants à l'Agenda 2000 de la PAC	Nord (France)	Économie	Enquêtes	Modélisation (Prog.linéaire)
Système technique de polyculture-élevage	Évaluation/ Compréhension de l'existant	Fonctionnement socio-technique	Dugué *et al.*, 2004	Favoriser la mise en place d'innovations	Sud (Afrique)	Agronomie Zootechnie	Enquêtes	Modélisation
		Cycle des nutriments	Powell *et al.*, 2004	Évaluation du recyclage des nutriments	Sud (Afrique)	Agronomie	Observations de terrain	Statistiques quantitatives
		Cycle des nutriments - Système fourrager	Thomas et Sumberg, 1995	Évaluer les intérêts des cultures fourragères et du cycle des nutriments	Sud (Amérique latine)	Agronomie	Bibliographie	Statistiques descriptives
	Conception/ Évaluation d'innovations	Coordinations cultures-élevage - Système fourrager	Lenné *et al.*, 2003	Améliorer l'utilisation de cultures double-fin (food/feed)	Sud (Afrique)	Agronomie	Bibliographie	
			Franzluebbers et Stuedemann, 2007	Évaluer la mise en place de non-labour dans des systèmes technique	Nord (USA)	Agronomie	Expérimentation	Statistiques descriptives
			Zerbini et Thomas, 2003	Améliorer génétiquement les cultures double fin	Sud (Asie)	Agronomie	Expérimentation	Statistiques quantitatives
			Entz *et al.*, 2002	Évaluer le potentiel de fourrages pour diversifier le système de cultures	Nord (Canada)	Agronomie	Expérimentation	Statistiques descriptives
			Khakbazan *et al.*, 2009	Évaluer l'intérêt de la luzerne pour diversifier le système de cultures	Nord (Canada)	Agronomie	Expérimentation	Statistiques quantitatives

Les études recensées comportent peu d'expérimentation ou de construction de références techniques à l'échelle de l'exploitation, mais surtout des analyses descriptives. La modélisation, plus développée, se heurte alors à un manque de références chiffrées et également d'engagement et d'intérêt des acteurs du développement. De plus, les agriculteurs sont peu impliqués dans ces démarches de modélisation, qui leur reste donc peu accessible du fait de différences de référentiels techniques avec celui des chercheurs, voire de problèmes d'analphabétisme (Sraïri, 2005).

Un renouveau d'intérêt récent pour l'exploitation de polyculture-élevage au Nord

L'intérêt des systèmes de polyculture-élevage pour le développement durable n'a été reconsidéré que très récemment aux États-Unis (Tanaka *et al.,* 2007) et en Europe (Gibon *et al.,* 2011 ; Meynard, 2012). Ce renouveau d'intérêt peut expliquer le peu de travaux recensés au Nord. Les travaux de la dernière décennie portent sur le renforcement de l'autonomie des exploitations via les coordinations entre élevage et cultures, en particulier pour les apports azotés, pour l'alimentation des animaux et la fertilisation minérale des cultures (Hendrickson *et al.,* 2008 ; Coquil *et al*., 2013).

Les enjeux économiques de l'association de cultures et d'élevage restent abordés de manière très théorique (Russelle *et al*., 2007 ; Wilkins, 2008). Hendrickson *et al.* (2008) ont souligné en particulier le besoin de travaux visant à concevoir des systèmes de polyculture-élevage capables de s'adapter à des changements de contexte économique, tout en maintenant une certaine stabilité de leur marge et de leur fonctionnement technique. La recherche d'innovations techniques pour favoriser la durabilité environnementale est souvent déconnectée des objectifs ou des réalités économiques des exploitations. Nous pouvons citer, par exemple, Franzluebbers et Stuedemann (2007), sur l'intérêt du pâturage d'intercultures fourragères et du non-labour sur la qualité des sols ou Khakbazan *et al.* (2009) sur l'intérêt d'intégrer de la luzerne dans les assolements et les systèmes fourragers. Ces travaux répondent donc de manière très partielle aux enjeux de la polyculture-élevage européenne. L'organisation du travail très étudiée en élevage (Dedieu et Servière, 2001), reste peu abordée, en dehors de cas récents de simulation du fonctionnement sociotechnique des exploitations de polyculture-élevage intégrant un bilan travail (Le Gal *et al*., 2011 ; Ryschawy *et al*., 2013).

Des approches expérimentales « système », soit à l'échelle de l'exploitation et en vraie grandeur, sont conduites pour éclairer les formes possibles de coordination entre élevage et cultures (Coquil *et al.,* 2009). Ces recherches permettent de concevoir des exploitations de polyculture-élevage à bas intrants, mais leur mise en place est très coûteuse. La modélisation peut dès lors être une voie prometteuse pour l'évaluation *ex ante* de changements de pratiques, de politiques agricoles ou de prix sur les performances des exploitations. Des travaux en économie de l'élevage abordent certains des enjeux-clés pour les exploitations de polyculture-élevage européennes, au moyen de simulations fondées sur le suivi de réseaux d'exploitations, adaptation aux évolutions de la PAC (Veysset *et al.,* 2005) ou recherche d'autonomie protéique (Veysset et Bébin, 2006). Chardon *et al.* (2012) ont quant à eux développé une représentation systémique de l'exploitation de polyculture-élevage. Le modèle MELODIE permet ainsi de simuler l'évolution de flux de matières en modélisant des décisions-types de l'agriculteur et leurs impacts. D'autres démarches de modélisation ont pris en compte les décisions des agriculteurs en intégrant ces derniers à la réflexion. Des modèles accessibles aux agriculteurs et à leurs conseillers sont alors développés pour leur permettre de s'impliquer dans la conception de systèmes de polyculture-élevage par des simulations de changement de pratiques *ex ante* (Le Gal *et al*., 2011 ; Ryschawy *et al*., 2014).

Conclusion

La revue bibliographique présentée souligne le manque de consensus autour d'une définition de l'exploitation de polyculture-élevage malgré un large renouveau d'intérêt pour ce type de système. La définition la plus large proposée englobe une grande diversité d'agricultures à travers le monde et doit être précisée pour chaque contexte et gamme d'objectifs. Les exploitations de polyculture-élevage s'inscrivent dans des dynamiques de développement différentes dans les pays du Nord et du Sud. Au Nord, ces exploitations représentent une voie d'avenir pour des pratiques agronomiques plus respectueuses de l'environnement et une flexibilité accrue des systèmes, dans un contexte de raréfaction de l'énergie et de risques climatiques. Les coordinations entre élevage et cultures peuvent en effet être vues comme un moyen de boucler les cycles des nutriments répondant à des enjeux d'économies d'énergie et de limitation de l'usage des intrants. Au Sud, l'exploitation de polyculture-élevage apparaît comme une voie d'intensification de la productivité agricole, dans un contexte de faible accès aux capitaux, au crédit et plus spécifiquement aux intrants. Des enjeux transversaux existent néanmoins au niveau mondial. Partout, la coordination entre élevage et productions végétales à l'échelle de l'exploitation est reconnue pour ses intérêts économiques et environnementaux.

La recherche a, pour l'essentiel, abordé ces enjeux de manière théorique ou s'est focalisée sur les questions techniques de l'intégration entre élevage et cultures, avec une expérience de terrain forte dans le Sud. L'appui à l'innovation et l'accompagnement des agriculteurs, fondés sur des cas d'étude bien documentés, occupent encore une faible place dans l'ensemble des recherches relatives aux exploitations de polyculture-élevage. Les travaux recensés en la matière concernent principalement les pays du Sud. La majorité des travaux recensés dans les pays du Nord se focalise sur l'étude des flux biophysiques à l'échelle de l'exploitation. Les études, souvent très disciplinaires et ciblées, n'intègrent pas le fonctionnement et l'évolution des exploitations sur le long terme, comme les questions de transmission des exploitations, ni l'analyse fine des pratiques des agriculteurs et des facteurs de l'environnement. Ainsi, des questions vives comme l'organisation du travail, la

conception d'innovations techniques ou la définition de mesures incitatives pour le maintien des exploitations de polyculture-élevage sont peu abordées dans les pays du Nord. Ces questions demandent de reconsidérer les exploitations de polyculture-élevage comme des systèmes complexes, en co-évolution avec leur environnement.
Pour permettre une réelle réflexion sur la place possible des exploitations de polyculture-élevage dans le développement durable de l'agriculture, nous appelons à poursuivre les efforts de recherche déjà engagés. La recherche devra en particulier préciser ses définitions en termes de niveaux d'intégrations entre élevages et cultures. Des approches systémiques combinant différentes disciplines et échelles d'analyse seront indispensables pour repenser les exploitations de polyculture-élevage comme voie de développement durable des exploitations. Des incitations politiques spécifiques et une réorientation des aides intégrant ces visions systémiques seront nécessaires au développement et au maintien d'exploitations de polyculture-élevage favorisant les coordinations entre élevages et cultures. ■

Références

Agreste, 2009. *Tableau standard RICA 2002-2008.* Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire - Agreste - RICA France. http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/publications/chiffres-et-donnees/article/rica-france-tableaux-standard-2008

Bell LW, Moore AD, 2012. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. *Agricultural Systems* 111 : 1-12. doi: 10.1016/j.agsy.2012.04.003

Bonaudo T, Bendahan A, Sabatier R, Ryschawy J, Bellon S, *et al.,* 2014. Integrated Crop-livestock systems are good models for the development of agroecological thinking. *European Journal of Agronomy* 57 : 43-51. doi: 10.1016/j.eja.2013.09.010

Chardon X, Rigolot C, Baratte C, Espagnol S, Raison C, Martin-Clouaire R, *et al.,* 2012. MELODIE: a whole farm model to study the dynamics of nutrients in dairy and pig farms with crops. *Animal* 6 : 1711-21. doi: 10.1017/S1751731112000687

Chatellier V, Guesdon JC, Guyomard H, Perrot C, 2009. L'application française du bilan de santé de la PAC : Un transfert limité pour l'élevage, mais une véritable réévaluation pour l'herbe. *Rencontre autour des Recherches sur les Ruminants* 16 : 203-10. www.journees3r.fr/IMG/pdf/2009_05_01_Chatellier.pdf

Choisis JP, Sourdril A, Deconchat M, Balent G, Gibon A, 2010. Comprendre la dynamique régionale des exploitations de polyculture élevage pour accompagner le développement rural dans les Coteaux de Gascogne. *Cahiers Agricultures* 19 : 97-103. doi: 10.1684/agr.2010.0375

Coquil X, Beguin P, Dedieu B, 2013. Transitions to self-sufficient mixed crop – dairy farming systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* 29 : 195-205. doi: 10.1017/S1742170513000458

Coquil X, Blouet A, Fiorelli JL, Bazard C, Trommenschlager JM, 2009. Conception de systèmes laitiers en agriculture biologique : Une entrée agronomique. *INRA Productions Animales* 22 : 221-34. http://www6.inra.fr/productions-animales/2009-Volume-22/Numero-3-2009/Conception-de-systemes-laitiers-en-agriculture-biologique-une-entree-agronomique

Dedieu B, Servière G, 2001. Organisation du travail et fonctionnement des systèmes d'élevage. *Renc Rech Ruminants* 8 : 245-50.

Devendra C, Thomas D, 2002. Crop-animal interactions in mixed farming systems in Asia. *Agricultural Systems* 71 : 27-40. doi: 10.1016/S0308-521X(01)00034-8

de Wit J, Prins U, Baars T, 2006. Partner Farms: Experiences with livestock farming systems research support intersectoral cooperation in the Netherlands. In : Rubino R, Sepe L, Dimitriadou A, Gibon A, eds. *Livestock farming systems : Product quality based on local resources leading to improved sustainability*. Benevento (Italy) : EAAP ; 317-22.

Dufumier M, 2006. Diversité des exploitations agricoles et pluriactivité des agriculteurs dans le Tiers-Monde. *Cahiers Agricultures* 15 : 584-8. doi: 10.1684/agr.2006.0028

Dugué P, Autfray P, Blanchard M, Djamen Nana P, Dongmo AL, Girard P, *et al.*, 2012. L'agroécologie pour l'agriculture familiale dans les pays du Sud : impasse ou voie d'avenir ? Le cas des zones de savane cotonnière de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. In: Diouf Abdou, eds. *Colloque ''René Dumont revisité et les politiques agricoles africaines'', 15 et 16 novembre 2012 : résumés des communications*. Paris. http://www.gret.org/publication/rene-dumont-revisite-et-les-politiques-agricoles-africaines

Dugué P, Fahiraman RK, Gnagadjomon K, Akindes F, 2004. Production agricole et élevage dans le centre du bassin cotonnier de Côte d'Ivoire : Développement économique, gestion des ressources naturelles et conflits entre acteurs. *Cahiers Agricultures* 13 : 1-7.

Entz MH, Baron VS, Carr PM, Meyer DW, Smith SR, Mac Caughey P, 2002. Potential of Forages to Diversify Cropping Systems in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal* 94 : 240-50.

Franzluebbers AJ, Stuedemann JA, 2007. Crop and cattle responses to tillage systems for integrated crop-livestock production in the Southern Piedmont, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems* 22 : 168-80. doi: 10.1017/S1742170507001706

Gibon A, Ryschawy J, Schaller N, Blouet A, Coquil X, Martin P, *et al.,* 2011. L'élevage, un atout pour le développement durable des territoires dans les régions de polyculture-élevage. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants* 18 : 369-72. http://www.journees3r.fr/spip.php?article3237

Hendrickson JR, Hanson JD, Tanaka DL, Sassenrath GF, 2008. Principles of integrated agricultural systems : Introduction to processes and definition. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23 : 265-71. doi: 10.1017/S1742170507001718

Herrero M, Thornton PK, Notenbaert AM, Wood S, Msangi S, Freeman HA, *et al.,* 2010. Smart investments in sustainable food production : Revisiting mixed crop-livestock systems. *Science* 327 : 822-5. doi: 10.1126/science.1183725

Huyghes C, 2009. La multifonctionnalité des prairies en France II. *Conciliation des fonctions de production et de préservation de l'environnement. Cahiers Agricultures* 18 : 7-16. doi: 10.1684/agr.2009.0263

Khakbazan M, Moulin AM, Coulthard L, Nagy CN, 2009. Alfalfa as a diversification option for grain farms in Western Canada. *Journal of International Farm Management* 4(4):1-10. http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/images/iclsd/documents/wk3_c1_coulthard.pdf

Landais E, Lhoste P, 1993. Systèmes d'élevage et transferts de fertilité dans la zone des savanes africaines. 2 : Les systèmes de gestion de la fumure animale et leur insertion dans les relations entre l'élevage et l'agriculture. *Cahiers Agricultures* 2 : 9-25.

Landais E, Lhoste P, 1990. L'association agriculture-élevage en Afrique intertropicale : Un mythe techniciste confronté aux réalités du terrain. *Cahiers des Sciences Humaines* 26(1–2):217-35. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/sci_hum/31592.pdf

Le Gal PY, Andrieu N, Dugué P, Kuper M, Sraïri MT, 2011. Des outils de simulation pour accompagner des agroéleveurs dans leurs réflexions stratégiques. *Cahiers Agricultures* 20 : 413-20. doi: 10.1684/agr.2011.0509

Lemaire G, Franzluebbers A, Carvalho PCF, Dedieu B, 2013. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 190 : 4-8. doi: 10.1016/j.agee.2013.08.009

Lenné JM, Fernandez-Rivera S, Blümmel M, 2003. Approaches to improve the utilization of food-feed crops–synthesis. *Field Crops Research* 84 : 213-22. doi: 10.1016/S0378-4290(03)00152-7

Lenné JM, Thomas D, 2006. Integrating crop-livestock research and development in Sub-Saharan Africa: Option, imperative or impossible? *Outlook on Agriculture* 35 : 167-75.

Meynard JM, 2012. Conclusion. In : *Associer productions animales et végétales pour des territoires agricoles performants*, 24 octobre 2012, Poitiers, France. http://www6.inra.fr/ciag/Colloques-Agriculture/Polyculture-Elevage.

Moraine M, Therond O, Leterme P, Duru M, 2012. Un cadre conceptuel pour l'intégration agroécologique de systèmes combinant culture et élevage. *Innovations agronomiques* 22 : 101-15. http://www6.inra.fr/ciag/Revue/Volume-22-Octobre-2012

Perrot C, Caillaud D, Chambaut H, 2012. Économies d'échelle et économies de gamme en production laitière. Analyse technico-économique et environnementale des exploitations de polyculture-élevage françaises. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants* 19 : 33-6. http://www.journees3r.fr/spip.php?article3392

Peyraud JL, Delaby L, Dourmad JY, Faverdin P, Morvan T, Vertes F, 2012. Les systèmes de polyculture élevage pour bien valoriser l'azote. In: *Associer productions animales et végétales pour des territoires agricoles performants*, 24 octobre 2012, Poitiers, France. http://www6.inra.fr/ciag/Colloques-Agriculture/Polyculture-Elevage.

Powell JM, Williams TO, 1995. An overview of mixed farming systems in sub-Saharan Africa. In : Powell JM, Fernandez-Rivera R, Williams TO,

Renard C, eds. *Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharian Africa*. Addis Abeba (Ethiopia) : ILCA, 21-36.

Powell JM, Pearson RA, Hiernaux PH, 2004. Crop-livestock interactions in the West African drylands. *Agronomy Journal* 96 : 469-83. doi: 10.2134/agronj2004.0469

Russelle MP, Entz MH, Franzluebbers AJ, 2007. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. *Agronomy Journal* 99 : 325-34. doi: 10.2134/agronj2006.0139

Ryschawy J, Joannon A, Choisis JP, Gibon A, Le Gal PY, 2014. Participative assessment of innovative technical scenarios for enhancing sustainability of French mixed crop-livestock farms. *Agricultural Systems*. doi: 10.1016/j.agsy.2014.05.004 (In Press)

Ryschawy J, Choisis N, Choisis JP, Joannon A, Gibon A, 2013. Paths to last in mixed crop-livestock farming: lessons from an assessment of farm trajectories of change. *Animal* 7(4):673-81. doi: 10.1017/S1751731112002091

Ryschawy J, Choisis N, Choisis JP, Joannon A, Gibon A, 2012. Mixed crop-livestock systems: An economic and environmental-friendly way of farming? *Animal* 6 : 1722-30. doi: 10.1017/S1751731112000675

Ryschawy J, 2012. *Évaluer les conditions de maintien d'exploitations de polyculture-élevage durables.* Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse. ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00002051/01/ryschawy.pdf

Schiere JB, Ibrahim MNM, van Keulen H, 2002. The role of livestock for sustainability in mixed farming: Criteria and scenario studies under varying resource allocation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 90 : 139-53. doi: 16/S0167-8809(01)00176-1

Seré C, Steinfeld H, Groenewold J, 1996. *World Livestock Production systems*. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations. ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/w0027e/w0027e00.pdf

Siegmund-Schultze M, Rischkowsky B, da Veiga JB, King JM, 2010. Valuing cattle on mixed smallholdings in the Eastern Amazon. *Ecological Economics* 69 : 857-67. doi: 10.1016/j.ecolecon.2009.10.010

Sraïri MT, 2005. Ingénierie agronomique et développement des exploitations familiales agricoles dans les pays du Sud : Réflexions à partir du cas marocain. *Cahiers Agricultures* 14 : 485-91.

Stür WW, Horne PM, , Gabunada Jr FA, Phengsavahn P, Kerridge PC, 2002. Forage options for smallholder crop-animal systems in Southeast Asia: Working with farmers to find solutions. *Agricultural Systems* 71 : 75-98. doi: 10.1016/S0308-521X(01)00037-3

Swinton SMn Quiroz R, 2003. Is poverty to blame for soil, pasture and forest degradation in Peru's Altiplano? *World Development* 31 : 1903-19. doi: 10.1016/j.worlddev.2003.06.004

Tanaka DL, Karn JF, Scholljegerdes EJ, 2007. Integrated crop/livestock systems research : Practical research considerations. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23(1):80-6. doi: 10.1017/S1742170507002165

Thomas D, 2002. Editorial of the special volume on small-scale mixed farming systems. *Agricultural Systems* 71 : 1-4.

Thomas D, Sumberg JE, 1995. A review of the evaluation and use of tropical forage legumes in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 54 : 151-63. doi: 10.1016/0167-8809(95)00584-F

Thornton PK, Herrero M, 2001. Integrated crop-livestock simulation models for scenario analysis and impact assessment. *Agricultural Systems* 70 : 581-602. doi: 10.1016/S0308-521X(01)00060-9

Thornton PK, Kristjanson PM, Thorne PJ, 2010. Measuring the potential impacts of improved food-feed crops: Methods for *ex ante* assessment. *Field Crops Research* 84 : 199-212. doi: 10.1016/S0378-4290(03)00151-5

van Keulen H, Schiere H, 2004. *Crop-livestock systems: Old wine in new bottles?* Brisbane (Australia): Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, September 2004. Published on CDROM. www.cropscience.org.au ftp://ftp.cgiar.org/ilri/ICT/Theme%203/211_van-keulenh.pdf.

Vayssières J, Guerrin F, Paillat JM, Lecomte P, 2009. GAMEDE: A gobal activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises, Part I - Whole farm dynamic model. *Agricultural Systems* 101 : 128-38. doi: 10.1016/j.agsy.2009.05.001

Vermersch D, 2007. *L'éthique en friche.* Collection update sciences and technologies. Paris : Éditions QUAE INRA.

Veysset P, Bébin D, 2006. *Food self-sufficiency and farm economics in French organic suckler cattle farms.* In Joint Organic Congress : Organic Farming and European Rural Development, Odense, Danemark. http://prodinra.inra.fr/record/18607.

Veysset P, Bebin D, Lherm M, 2005. Adaptation to Agenda 2000 (CAP reform) and optimisation of the farming system of French suckler cattle farms in the Charolais area: a model-based study. *Agricultural Systems* 83 : 179-202. doi: 10.1016/j.agsy.2004.03.006

Wilkins RJ, 2008. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 363 : 517-25. doi: 10.1098/rstb.2007.2167

Zerbini E, Thomas D, 2003. Opportunities for improvement of nutritive value in sorghum and pearl millet residues in South Asia through genetic enhancement. *Field Crops Research* 84(1–2):3-15. doi: 10.1016/S0378-4290(03)00137-0