Un cadre conceptuel pour l'intégration agroécologique de systèmes combinant culture et élevage

Marc Moraine, Olivier Therond, Philippe Leterme, Michel Duru

▶ **To cite this version:**

Marc Moraine, Olivier Therond, Philippe Leterme, Michel Duru. Un cadre conceptuel pour l'intégration agroécologique de systèmes combinant culture et élevage. Innovations Agronomiques, 2012, 22, pp.101-115. 10.17180/7thh-f276 . hal-01209085

HAL Id: hal-01209085
https://hal.science/hal-01209085

Submitted on 29 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 - NoDerivatives 4.0 International License

Innovations Agronomiques 22 (2012), 101-115

Un cadre conceptuel pour l'intégration agroécologique de systèmes combinant culture et élevage

Moraine M.[1], Therond O.[1], Leterme P.[2], Duru M.[1]

[1] : UMR 1248 AGIR, INRA, 24 Chemin de Borde Rouge – Auzeville- CS 52627 - 31326 Castanet Tolosan cedex

[2] : UMR INRA/Agrocampus 1069 SAS, 65, rue de St-Brieuc - CS 84215 - 35042 Rennes Cedex

Correspondance : marc.moraine@toulouse.inra.fr

Résumé

Réintégrer les cultures et l'élevage dans des systèmes mixtes est un enjeu fort de l'écologisation de l'agriculture. Pour appuyer la conception de tels systèmes à l'échelle exploitation et territoire, nous proposons un modèle conceptuel d'intégration selon deux approches : les flux de matières en vue d'améliorer l'efficience des ressources, les services écosystémiques en vue de substituer les intrants chimiques. Ce modèle, basé sur les interactions entre les sphères prairies - cultures – animaux, s'adapte aux systèmes actuels et à la conception de systèmes innovants, et permet d'imaginer les coordinations entre acteurs nécessaires à la mise en œuvre de l'intégration agroécologique. Ces coordinations génèrent des services d'ordre socio-économiques qui peuvent être recherchés et optimisés. L'articulation de ces cadres dans une méthode de conception participative et les outils associés nous semblent prometteurs pour appuyer l'intégration culture-élevage.

Mots clés : intégration culture-élevage, services écosystémiques, système socio-écologique, design, multi-échelle, écologisation forte.

Abstract: Conceptual framework for reflexive design of crops-livestock integration in a strong ecologization perspective.

Crops-livestock integration is a major challenge for strong ecologization of agriculture. To design mixed systems at farm and territory levels, we develop a conceptual framework of integration based on two approaches: products flows aiming at enhancing resource-use efficiency, and ecosystem services aiming at reducing the use of chemical inputs. This framework is based on interactions between the spheres of grasslands, crops and animals, and fits to the description of current systems and to the design of innovative systems. It allows imagining the coordination between stakeholders which make agroecological integration possible. This coordination may provide socio-economic services which could be useful and optimized. The articulation of this multiple levels in an integrative framework constitutes a basis for a methodology of participative design of crops-livestock integrated systems

Keywords: crop-livestock integration, ecosystem services, socio-ecological system, design, multiscale, strong ecologization.

Introduction

Les systèmes mixtes développés en Europe au Moyen âge sont basés sur les complémentarités de l'ager (cultures), du saltus (pâtures) et de la sylva (forêt) (Poux *et al*.,2009) par exemple par l'utilisation des effluents d'élevage pour fertiliser les sols cultivés ou la culture de légumineuses pour nourrir les animaux (Wilkins, 2008). Mazoyer et Roudart (2006) situent à la fin du XIXème siècle la spécialisation régionale dans les zones proches des axes ferroviaires (céréales dans les plaines d'Europe du nord, élevage porcin et laitier au Danemark et Pays Bas). La mécanisation engendrant la disparition du bétail

de trait, les rotations culturales se simplifiant grâce aux traitements phytosanitaires, de nombreuses exploitations se spécialisent en productions végétales connectées à des filières organisées à grande échelle. Dans le même temps, l'élevage se concentre dans les régions présentant des freins à la mécanisation du travail du sol ou à trop faible potentiel agronomique, où les structures foncières sont toujours de petite taille et dans les zones de montagnes à production fromagère à haute valeur ajoutée.

Cette dynamique de spécialisation est indissociable de l'intensification des pratiques car rendue possible par l'usage massif d'intrants, d'énergie fossile et parfois aussi d'eau pour l'irrigation. Ainsi, un rapport de la FAO (2001) conclut que ''*cheap resources lead to specialization, [whereas] restricted use of resources leads to mixing of crop and livestock enterprises*". Les profits à court terme générés par les économies d'agglomération (Schmitt et Larue, 2009) conduisent à une division verticale du travail, avec la séparation des activités de conception et d'innovation en « amont », des activités de production agricole et des activités de transformation et mise en commerce en « aval ».

Pourtant, de nombreuses études (Wilkins, 2008 ; Hendrikson, 2008; Russelle *et al*., 2007 ; Shiere *et al*., 2002 ; Lemaire, 2007 ; Bell et Moore, 2012) recensent les intérêts des systèmes combinant élevages et cultures et insistent sur le fait que l'intégration culture-élevage ne doit pas être seulement pensée à l'échelle du système ou de l'atelier de production mais aussi à celle du territoire. La plupart de ces études analysent comment la combinaison cultures-élevage permet d'améliorer le bouclage des cycles de nutriments et de réduire ainsi les impacts environnementaux mais peu d'entre elles s'intéressent aux conditions de mise en œuvre (voir Bell et Moore, 2012 au niveau de l'exploitation agricole) et donc à leur acceptabilité sociale. Par ailleurs, peu d'études cherchent à développer des systèmes agricoles mixtes dans lesquels la diversité de processus écologiques permet de réduire fortement l'utilisation des intrants pour un niveau de production au moins similaire car, pour cela, une transformation en profondeur des systèmes actuels et de la manière de les concevoir est nécessaire et implique donc des innovations de rupture, des « reconceptions » (Horlings et Mardsen, 2011 ; Hill, 1998 ; Meynard *et al,* 2012). Cette « écologisation forte » de l'agriculture ne consiste pas seulement à limiter les impacts négatifs des pratiques agricoles sur les écosystèmes, mais s'attache à considérer ces derniers comme une ressource dispensatrice de services écosystémiques (Horlings et Mardsen, 2011) qu'il convient de valoriser et de préserver. Un tel "glissement conceptuel" oblige à considérer simultanément les individus, l'action collective et les biens communs, dans le cadre d'apprentissages permettant aux acteurs de s'adapter collectivement aux changements (Kammili *et al*., 2011 ; Horlings et Mardsen, 2011).

L'objectif de ce papier est de présenter un cadre conceptuel pour analyser les systèmes culture-élevage existants et concevoir des systèmes basés sur l'interaction culture-élevage développant et exploitant au mieux les services écosystémiques et réduisant les externalités négatives (*disservices* comme l'émission de gaz à effet de serre). Ce cadre, qui se focalise sur les modes d'occupation et d'utilisation des sols, a pour ambition de permettre d'appréhender les processus biophysiques et les actes techniques propres aux systèmes culture-élevage ainsi que les processus socio-économiques qui les déterminent. Nous présenterons d'abord notre cadre d'analyse des caractéristiques biophysiques des systèmes culture-élevage, puis une approche "métabolique" de ces systèmes par laquelle nous identifierons les flux de matières sur lesquels portent les enjeux d'écologisation forte de ces systèmes. Enfin, nous spécifierons la nature des services écosystémiques propres à l'intégration culture-élevage. Dans un deuxième temps, nous utiliserons et montrerons l'intérêt de ce cadre pour décrire la structure et le métabolisme des systèmes agricoles actuels et les réorganisations envisagées. Dans la troisième section, nous montrerons que l'intégration agroécologique des systèmes culture-élevage au sein d'un territoire est déterminée par des processus sociaux et peut fournir des *services socio-économiques*. Nous discuterons alors des synergies et des compromis à développer entre ces deux types de services et montrerons en quoi notre modèle conceptuel constitue un « objet intermédiaire » indispensable au processus de conception participative (Vinck, 1999).

1. Un modèle conceptuel pour représenter les fonctionnalités des interactions culture-élevage

Nous proposons de représenter la structure des systèmes culture-élevage par la distinction de trois ensembles d'entités, appelés « sphères » : les Animaux – les Prairies – les Cultures. (Figure 1). Les sphères Cultures et Prairies sont des espaces géographiques associés à différents modes d'utilisation et de fonctions de l'espace. La sphère Animaux a un statut différent car elle peut déterminer les modes d'utilisation des deux sphères précédentes. Les espèces, les races, les différents ateliers d'élevage et leur conduite d'allotement et d'alimentation déterminent les performances des animaux mais aussi la nature des interactions envisageables avec les sphères Prairies et Cultures. Les zones de recouvrement entre sphères représentent les espaces sur lesquels elles interagissent directement soit simultanément (e.g. les prairies sur lesquelles les animaux pâturent) soit au fil du temps (les prairies en rotation avec les cultures).

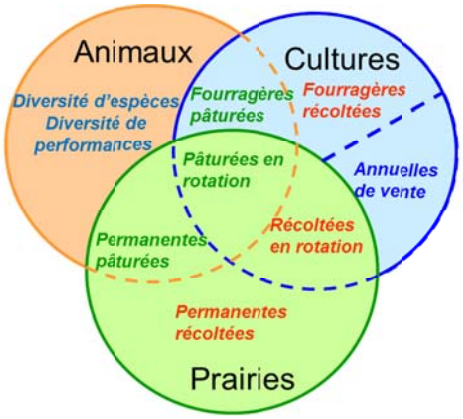

Figure 1 : Schématisation, du point de vue de l'utilisation de l'espace productif, de la structure d'un système agricole, au niveau de l'exploitation ou du territoire, composée de trois ensembles d'entités ou sphères « Animaux », « Prairies » et « Cultures ». Les zones de recouvrement entre sphères représentent les relations spatiales et ou temporelles entre ces trois types d'entités. En faisant varier les tailles de chaque sphère et des zones de recouvrement, il est possible de représenter la gamme des systèmes agricoles existants, en vue de décrire et analyser une exploitation agricole ou l'utilisation du sol et la place de l'élevage dans un territoire.

La sphère Prairies comprend d'une part les prairies permanentes fauchées ou pâturées (recouvrement avec la sphère Animaux) et d'autre part les prairies en rotation fauchées (recouvrement avec la sphère Cultures) ou pâturées/fauchées (recouvrement avec les sphères cultures et animaux). La sphère Cultures distingue les cultures de ventes et les cultures à destination des animaux. Cette distinction n'est pas toujours étanche et prédéterminée : ainsi on peut distinguer (i) des adaptations conjoncturelles de la destination des cultures comme le maïs grain vs. ensilage ou les céréales grains vs. immatures et (ii) la possibilité de conduire sur une saison culturale les deux types de cultures sur une même parcelle, par exemple une culture dérobée avant un maïs. Enfin, la destination principale des cultures de vente n'exclue pas la valorisation de sous-produits comme la paille ou le pâturage de chaumes. La sphère Animaux comprend la diversité d'espèces (monogastriques ou herbivores) et de niveaux de performance, qui conditionne le type et la qualité des ressources à mobiliser, de même que la qualité des déjections.

1.1. *Approche métabolique des systèmes culture-élevage*

L'approche métabolique est basée sur les principes de l'écologie industrielle (Figuière et Metereau, 2012) et vise à augmenter l'autonomie des systèmes et l'efficience d'utilisation des ressources (Figure 2). En favorisant le recyclage des déchets et la réduction des émissions, l'intégration cultures/élevages permet de réduire la consommation d'intrants (en particulier ceux basés sur l'exploitation de ressources naturelles) et la production de déchets/émissions de polluants. Les intrants ciblés sont les combustibles fossiles utilisés directement dans les exploitations ou indirectement pour l'élaboration des intrants (production d'engrais azotés de synthèse), et les ressources naturelles comme la potasse, le phosphore, l'eau.

La représentation des flux de matières et des échanges entre sphères (par exemple, la sphère animale produit des déjections qui constituent des intrants pour les sphères Prairies ou Cultures) permet de catégoriser ces échanges selon leur « degré de circularité » *i.e*. le niveau de recyclage au sein du système culture-élevage et ainsi leur niveau d'efficience d'utilisation des intrants. Une circularité limitée porte par exemple sur l'utilisation des déjections comme fertilisants. Une circularité plus élaborée est leur méthanisation suivie de l'utilisation des résidus de ce processus comme fertilisants. Une intermédiaire est l'utilisation de résidus de cultures pour l'alimentation animale.

1.2. *Approche écosystémqiue : substituer des intrants synthétiques par des services écosystémiques*

L'objectif est de modifier la structure et l'état des agroécosystèmes pour orienter les processus écologiques vers la fourniture de services écosystémiques attendus. Au sein de ces services, Le Roux *et al.* (2008) distinguent : (i) les services de production correspondant aux productions de matières premières agricoles (lait, viande, graines); (ii) les services intrants correspondant à la fourniture de ressources (nutriments, eau) et aux régulations biologiques. Les processus écologiques sous-jacents, qui dépendent du renouvellement de la composante biologique de la fertilité des sols (Wardle, 2004), et de la dynamique des espèces et des réseaux trophiques (Scherr et McNeely, 2008) ; (iii) les services non marchands résultant des processus de régulation des cycles biogéochimiques (stockage du carbone) ou correspondant à des services dits culturels souvent évalués au travers de l'hétérogénéité des paysages.

Pour promouvoir les services écosystémiques, il est nécessaire de favoriser la diversité des espèces cultivées et naturelles afin d'amplifier leurs interactions. Ces dernières s'exercent au sein de réseaux écologiques dont le fonctionnement et la pérennité seront d'autant mieux assurés que les structures paysagères permettront qu'il soit dense, diversifié et connecté dans l'espace (Koohafkan *et al.,* 2011 *;* Frontier, 1977).

Agir sur les propriétés des agroécosystèmes culture-élevage pour augmenter leur capacité à fournir des services écosystémiques peut prendre différentes formes. Ainsi, les prairies basées sur des mélanges prairiaux complexes avec des légumineuses et l'apport de déjections animales dans les grandes cultures sont susceptibles d'augmenter la taille et la diversité des populations microbiennes du sol et d'améliorer la fertilité biologique des sols. Parallèlement, l'introduction des prairies dans les systèmes de culture favorise la régulation biologique des bioaggresseurs. En outre, les pratiques mises en œuvre à l'échelle de la parcelle ont des impacts, par effet de cascade, à différents niveaux d'organisation tels que le groupe de parcelles, le paysage, le bassin versant (Galloway *et al* 2008 ; Walker *et al.* 2009).

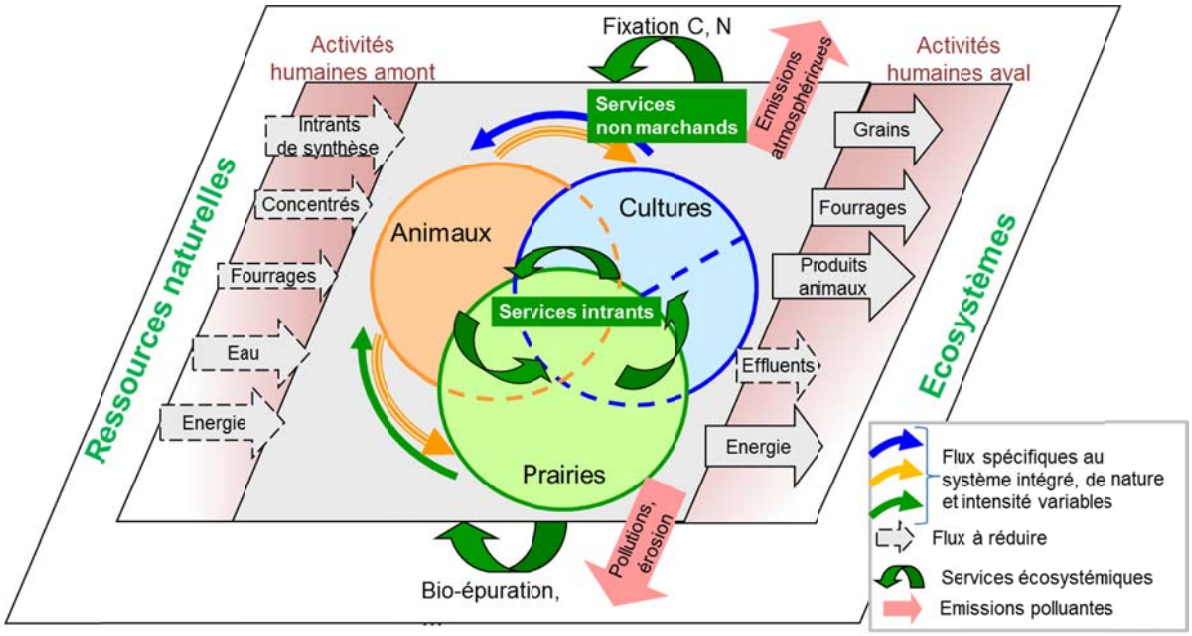

Figure 2 : Approches métabolique et écosystémique combinées pour l'intégration culture-élevage.
Dans cette figure, les flèches droites symbolisent des flux entrant-sortant ; les flèches courbes décrivent les flux internes : fourrages (aliments) et déjections. Les flèches en rouge et en pointillés correspondent aux flux qui visent à être diminués dans le processus d'intégration.

1.3. *Intérêt du couplage entre les deux approches*

Le couplage des approches métabolique et écosystémique permet d'identifier les flux entrants et sortants du système sur lesquels il faudrait intervenir et les processus écologiques qui doivent permettre de modifier le régime de ces flux. Cette analyse est l'étape initiale du processus de conception des modalités biotechniques « d'écologisation forte » des systèmes culture-élevage. Elle met en évidence le rôle central des modes d'utilisation et de gestion des espaces comme par exemple :

- les surfaces pâturées où il y a restitution par les déjections de la majeure partie des nutriments prélevés par les animaux. Ce type de gestion du renouvellement de la fertilité chimique et organique du sol présente aussi des inconvénients : très hétérogène, il peut conduire à des pertes vers l'environnement ;

- les surfaces de prairies temporaires qui rentrent en rotation, les bénéfices liés à cette introduction étant nombreux ;

- la distribution spatiale des surfaces en herbe dans le paysage qui influence le fonctionnement des réseaux écologiques ;

- la part de légumineuses dans l'assolement et leur mode de gestion : peu contrôlable dans les prairies permanentes (10% en moyenne), elle est potentiellement élevée pour les prairies semées (luzerne pure) ou les cultures annuelles (protéagineux) ;

- la gestion des sous-produits : par exemple, si la paille est restituée au sol, directement (fort C sur N) ou après usage par l'atelier animal (faible C sur N), la vie biologique des sols concernés est fortement modifiée.

1.4. *Représentation des Systèmes cultures – élevage existants et des voies d'évolution possibles*

Les systèmes agricoles couramment rencontrés en Europe occidentale se distribuent au sein de 5 grands types suivant un gradient croissant d'importance des cultures sur l'exploitation (Figure 3) :

1- élevages hors sol (par exemple monogastriques) : aucune culture ni prairie, systèmes basés sur des intrants extérieurs ;

2- trois types de systèmes d'élevage : (a) élevages de ruminants à l'herbe, où l'achat d'aliments concerne principalement les concentrés, pas ou très peu de cultures de vente ; (b) systèmes de polyculture-élevage orientés fourrage, rencontrés dans les petites structures avec possibilité d'autoproduction des concentrés et peu de cultures de vente du fait de la taille des structures ; (c) systèmes de polyculture-élevage avec un atelier cultures de ventes important, souvent situés dans les zones de transition présentant des contraintes de milieux hétérogènes, comme dans les zones de coteaux ou les piémonts ;

3- systèmes de grandes cultures sans atelier élevage souvent situées dans les plaines céréalières.

La présence d'atelier d'élevage de monogastriques en bâtiment, au sein d'une l'exploitation possédant un atelier de grandes cultures, correspond à une combinaison de systèmes 1 et 3 dans des formes d'intégration plus ou moins aboutie (Type 2 de la Figure 5).

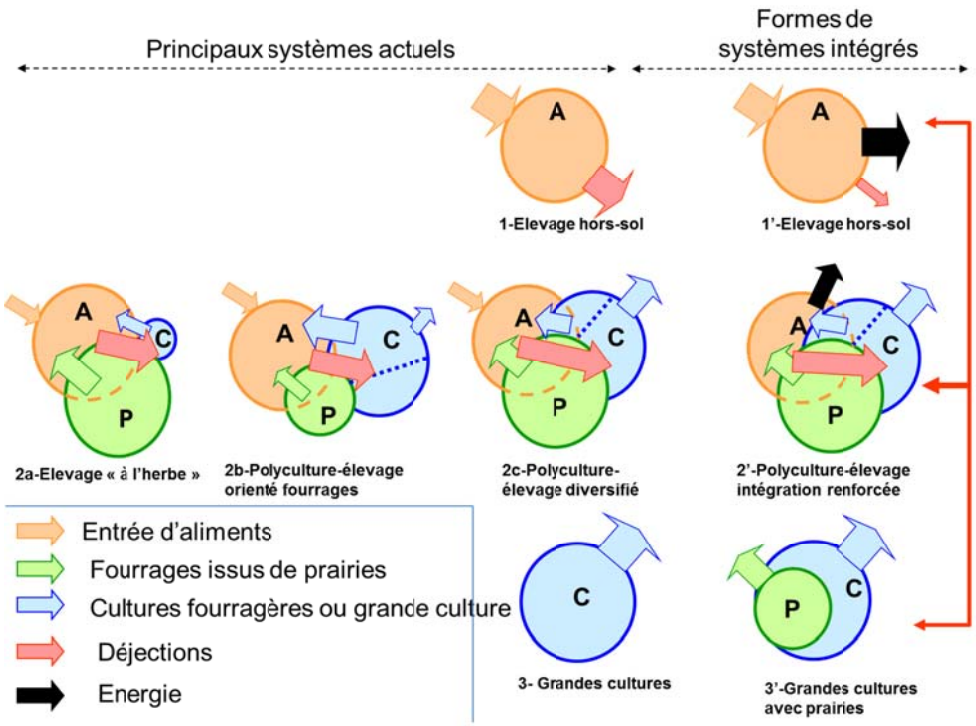

Figure 3 : Représentation des principaux types de systèmes de production actuels (partie gauche) ou à promouvoir pour augmenter leur efficience (partie droite) au travers de la dimension des sphères Animaux (A) – Cultures (C)- Prairies (P) et leur surface de recouvrement et des principaux flux de matière organique et de production d'énergie (la largeur des flèches traduit l'importance des flux) ; Systèmes spécialisés élevage (ligne du haut), systèmes mixtes, de l'élevage « à l'herbe » à la polyculture élevage (ligne du milieu), et systèmes de grandes cultures (ligne du bas) ; flèche rouge (à droite) : coordination à mettre en œuvre à l'échelle du territoire basée sur des échanges de matières entre systèmes spécialisés ou non. Par soucis de lisibilité les services écosystémiques ne sont pas représentés et les flux présentés ne concernent que les flux inter-sphères.

Pour conduire une écologisation forte de l'agriculture, des changements dans la gestion des espaces à l'échelle de l'exploitation agricole (Figure 3, partie droite) et des coordinations entre exploitations à

l'échelle du territoire (flèche rouge) doivent être réalisés. Par exemple, à l'échelle de l'exploitation : l'introduction de prairies dans les systèmes de grandes cultures pour produire des fourrages destinés à la vente et favoriser les services écosystémiques. Au niveau du territoire : l'organisation d'échanges de matières entre systèmes spécialisés (grandes cultures et élevage hors sols), ou encore l'organisation spatiale des systèmes de culture et des surfaces toujours en herbe pour favoriser les services écosystémiques de régulation des ravageurs des cultures. Enfin, la méthanisation de déchets organiques et effluents d'élevage, par exemple dans les élevages hors sol, et l'utilisation des résidus de celle-ci pour la fertilisation des systèmes de culture est aussi une voie prometteuse.

2. Implications et modalités socio-économiques de l'intégration culture-élevage

2.1. Des acteurs nécessaires pour l'intégration agroécologique

L'état des propriétés du système culture-élevage est le résultat de l'interaction entre activités humaines et processus écologiques. Ici, ces activités humaines correspondent aux modes de gestion des espaces agricoles par les pratiques agricoles. Par ailleurs, les choix sociétaux élaborent, implicitement, des hiérarchies entre services écosystémiques (Power, 2010 ; Oudenhoven *et al*, 2012) et déterminent ainsi le cadre socio-technique d'intervention des acteurs agricoles.

Le territoire où sont ancrées les exploitations agricoles constitue un système socio-écologique (SSE) (Ostrom, 2009) où des interactions s'expriment, au sein et entre un système social et un système écologique complexe. L'agriculteur, comme tout autre acteur, intervient dans le jeu social. Son comportement est déterminé par ses interactions sociales (Vanclay 2004) avec, au premier plan, les acteurs des filières, du conseil (chambres d'agriculture, Centre d'Economie Rurale, *etc*.) et de la gestion des ressources du territoire (*e.g*. eau) (Duru *et al*., 2012).

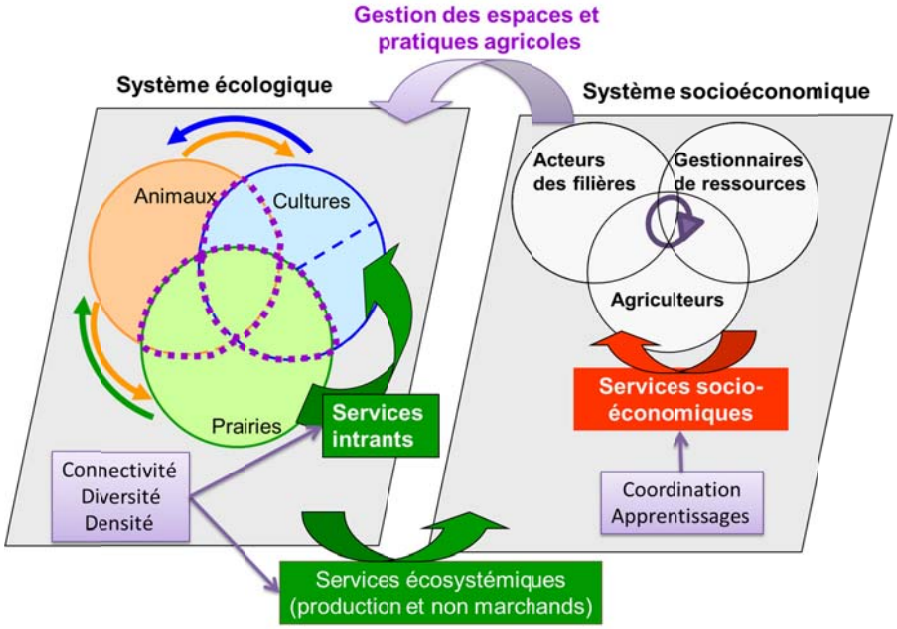

Figure 4 : Représentation du système socio-écologique correspondant à un territoire composé d'un système écologique (voir Figures 1& 2) et d'un système social dans lequel les acteurs des filières, de la gestion des ressources du territoire et les agriculteurs interagissent. Les activités des acteurs qui gèrent l'espace agricole et le paysage modifient les propriétés du système écologique (connectivité, diversité, densité). Ces propriétés déterminent l'existence et l'intensité des services écosystémiques.

L'écologisation forte des systèmes agricoles complexifiera néanmoins leur gestion (Hendrickson *et al.,* 2008) par l'augmentation du nombre et de la diversité des propriétés et des interactions à gérer. Elle

engendrera donc une augmentation des connaissances, compétences et savoir-faire nécessaires (Poux *et al*., 2009) et il sera nécessaire de mettre en œuvre à chaque niveau d'organisation clef des modalités de gestion, de coordination et d'apprentissage adaptées.

- Au niveau du territoire, il s'agit de concevoir des modalités de coordination sociale permettant les échanges de produits agricoles et la mise en œuvre d'une mosaïque paysagère propice aux services écosystémiques (Altieri, 2009 ; Power, 2010). Si l'échange de produits agricoles est historiquement géré par le monde agricole (via notamment les coopératives agricoles), ce n'est pas le cas de la mosaïque paysagère pour laquelle l'enjeu est de concevoir et mettre en œuvre une gestion collective des ressources naturelles grâce à une coordination d'un grande diversité d'acteurs (coopératives, gestionnaires de milieux, *etc*.). Cette gestion devra être adaptative, délibérative et itérative pour faire face : (i) aux incertitudes sur le fonctionnement des agroécosystèmes et sur les effets des pratiques; (ii) aux imperfections et limites de détection des variables de l'environnement découlant des processus écologiques et des actions de gestion ; (iii) à la difficulté de contrôler l'ensemble des actions de gestion au sein du territoire ; et (iv) au caractère stochastique, et donc imprévisible de certains processus écologiques (Williams, 2011). Cette gestion du territoire doit faire l'objet d'un apprentissage collectif (*social learning*) et aboutir à la constitution de « communautés de pratiques » (Pahl-Wostl et Hare, 2004 ; Armitage *et al.,* 2008 ; Newig *et al.,* 2008).

- Au niveau de l'exploitation, l'enjeu est avant tout de concevoir des systèmes de culture agroécologiques intégrant les effets de la biodiversité gérée à l'échelle du territoire. Là encore, il est nécessaire d'organiser des apprentissages entre agriculteurs pour partager les connaissances acquises sur les effets de leurs pratiques et les risques pris (Greiner *et al.,* 2009).

Ces coordinations et apprentissages nécessitent d'augmenter le niveau de connectivité des acteurs. Un parallèle peut être tracé entre les propriétés de connectivité des réseaux écologiques, (dont on connaît les effets positifs sur la fourniture de services écosystémiques) et celles du système socio-économique, qui se trouvent renforcées dans l'intégration culture-élevage. Ces propriétés de connectivité sont étudiées en sociologie des réseaux sociaux, et jouent un rôle important dans le changement des pratiques agricoles vers des pratiques agroécologiques (Compagnone, 2004 ; Houdart *et al*., 2011).

2.2 Services socioéconomiques liés à l'intégration culture – élevage

Au sein du système social, les interactions entre acteurs génèrent des externalités positives (Torre, 2000), que nous appelons ci-après « services socioéconomiques », à différents niveaux d'organisation (exploitation, collectif d'exploitations, territoires). Ils contribuent à augmenter la résilience (Folke *et al*., 2010) des systèmes culture-élevage comme le montrent les exemples suivants. L'intégration culture-élevage :

> réduit le risque de variabilité du revenu (Wilkins, 2008) parce qu'elle construit un marché diversifié et « internalisé ». La fourniture d'aliments pour l'élevage constitue un marché alternatif à la vente en circuit « conventionnel » des cultures, et peut permettre d'absorber une dépréciation de la qualité de la récolte suite à un évènement aléatoire. L'intégration peut également permettre l'affichage de l'origine locale des productions et donc rentrer dans des démarches de cahiers des charges éventuellement valorisables économiquement (notion de biens et services territorialisés selon Pecqueur, 2001).

> augmente la rentabilité des investissements et l'efficience d'utilisation des ressources (Wilkins, 2008) par une optimisation, à l'échelle de l'exploitation et du territoire, de l'allocation spatiale des activités selon les avantages comparatifs de chaque couple activité/situation. Par exemple, produire des fourrages irrigués dans les zones où l'eau est disponible et les transférer aux exploitations d'élevage où ce n'est pas le cas permet d'éviter la construction de retenues collinaires pour irriguer ces cultures.

> permet l'échange de connaissances, savoir-faire et expériences, ce qui augmente les options mobilisables dans l'action et renforce ainsi l'autonomie des producteurs. La notion de service d'autonomisation par l'apprentissage collectif (Darré, 1999) est également présente dans le concept de « capacity building » (Faure et Kleene, 2004).

> renforce le tissu social pour mieux répondre collectivement aux problèmes et mettre en place des formes de coopération bénéfiques (Fourcade *et al.*., 2010) ainsi que l'acceptabilité sociale des systèmes, tant du point de vue des agriculteurs (étalement des pics de travail) que de celui de la société.

2.3. Typologie des formes d'intégration culture-élevage dans le cadre de systèmes socio-écologiques

L'intégration culture-élevage doit être pensée aussi bien à l'échelle de l'exploitation qu'à celle du territoire. A la manière de Hendrickson *et al*. (2008), nous considérons que l'intégration culture-élevage provient d'un renforcement des coordinations spatiales et temporelles intra- et inter-exploitations et nous en avons identifié 4 formes types (Figure 5).

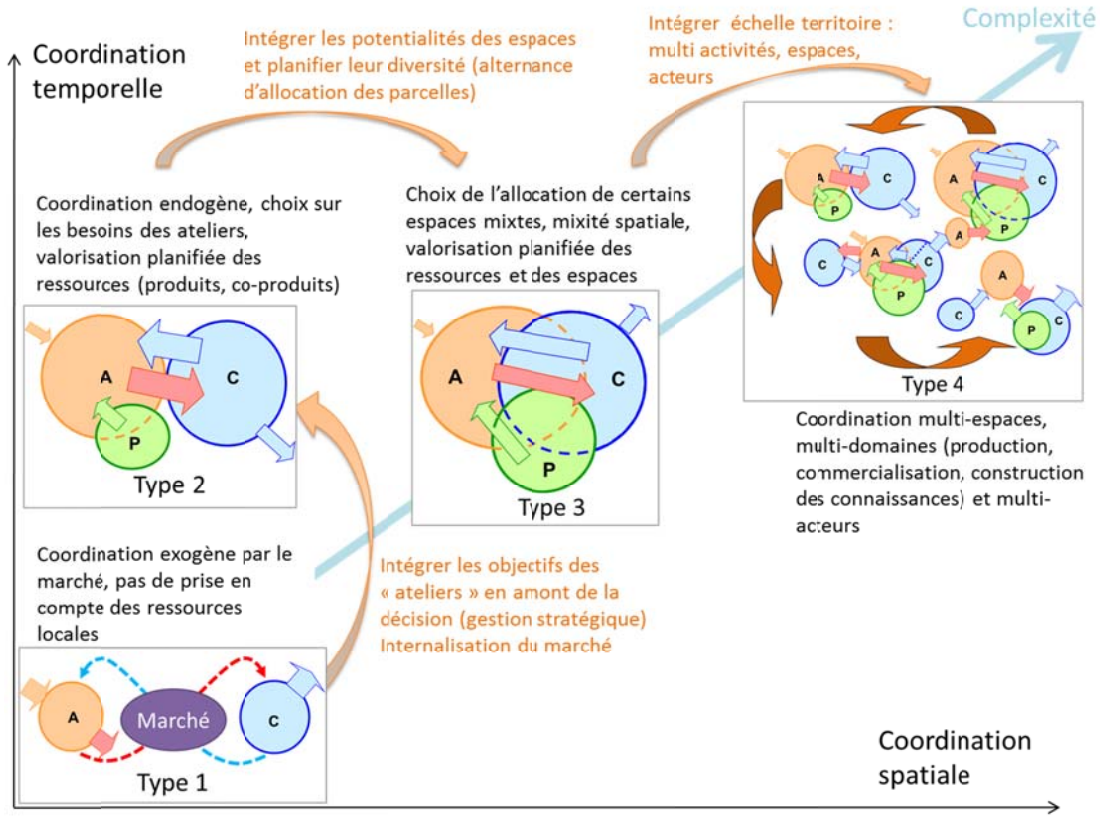

Figure 5 : Typologie de l'intégration culture-élevage. L'intégration est présentée dans sa dimension temporelle (axe vertical) correspondant à l'organisation des décisions d'allocation des ressources : choix stratégiques et ajustements tactiques, et dans sa dimension spatiale (axe horizontal) correspondant aux recouvrements des usages des différents espaces.

Type 1 : l'intégration est réalisée entre exploitations spécialisées à travers le marché dans une logique de flux de produits (grains, fourrages, déjections comme engrais organiques). Les enjeux de stabilisation des prix et des revenus peuvent entrainer le recours à la contractualisation. Cette coordination omet le plus souvent les dimensions spatiales, de proximité et ne permet donc pas de valoriser les services écologiques et socio-économiques.

Type 2 : les systèmes de culture intègrent les objectifs des systèmes d'élevage en termes de choix stratégiques (assolement, variétés, objectif de qualité) et tactiques (pratiques annuelles de fertilisation, protection phytosanitaire...), avec prise en compte en amont de l'allocation des ressources "effluents".

Type 3 : la coordination culture-élevage est renforcée dans le temps et l'espace par exemple par le pâturage sur repousses, la gestion tactique des débouchés des cultures. L'allocation des ressources terres et effluents est coordonnée en amont (prairies temporaires en rotation, cultures fourragères en dérobé).

Type 4 : l'intégration est territoriale avec des collectifs qui s'organisent pour optimiser l'allocation des ressources et augmenter la diversité des systèmes d'échange et de commercialisation (groupement de producteurs, mise en place d'une filière locale liée aux particularités du territoire, partage de travail, réseaux d'apprentissage et d'échange de pratiques).

Le niveau de coordination à mettre en place croit du type 1 au type 4, entraînant un accroissement de la complexité qui nécessite des compromis et des arbitrages entre des options pouvant s'avérer contradictoires.

2.4 Gérer les synergies et les compromis entre services

Le développement des services écosystémiques et socio-économiques peut conduire à réaliser des arbitrages entre ces services. En outre, la pertinence des services fournis par l'intégration cultures-élevage doit se discuter au regard des coûts de la coordination culture-élevage. Par exemple, optimiser l'allocation des ressources et donc la localisation des productions peut revenir à spécialiser des zones et de ce fait réduire leur diversité et l'expression de certains services écologiques ; les échanges de matières entre de telles zones ayant des coûts économiques et environnementaux.

A cet égard, deux caractéristiques nous semblent fondamentales pour anticiper ces coûts et définir des distances maximales d'échange : la teneur en matière sèche et la densité énergétique. Plus le territoire de gestion est grand, plus les produits devront être riches en énergie et en matière sèche pour justifier des transferts sur toute l'étendue de celui-ci.

Il appartient donc aux acteurs impliqués dans la conception de systèmes mixtes culture-élevage de définir la pertinence des formes d'intégration à rechercher, c'est-à-dire la nature et l'épaisseur des flèches du modèle générique de la Figure 2.

3. Vers une proposition méthodologique de conception multi-niveaux, multi-domaines, de systèmes mixtes culture – élevage

Les méthodes de conception de systèmes classiquement utilisées se basent généralement sur l'évaluation des performances, par une approche stock-flux, des systèmes existants ou simulés. Ces derniers sont le plus souvent bâtis par les chercheurs à partir de leur propre expertise, en considérant le cadre de contraintes et le domaine d'application des modèles utilisés. L'Analyse de Cycle de Vie est une des méthodes de référence (Van der Werf *et al*., 2009). L'évaluation multicritère (Sadok *et al*., 2009 ; Pelzer *et al*., 2012 ; Craheix *et al*., 2012a) permet par ailleurs de fournir un score de durabilité des systèmes de culture selon les trois piliers du développement durable. Les modèles dynamiques couplant des modèles biophysiques à des modèles décisionnels comprenant des stratégies d'acteurs permettent d'explorer rapidement une large gamme d'innovations (Chardon *et al*., 2008 ; Martin *et al*., 2011a). Leur principale limite réside dans le caractère donné et non socialement construit des problèmes à résoudre (Larsen *et al*., 2012) et en conséquence, leur prise en compte insuffisante du cadre de contraintes qui s'exprime dans les exploitations et les territoires (Voinov et Bousquet, 2010).

Les méthodes basées sur la participation des acteurs permettent de lever cette limite. Deux grands types d'approche sont envisageables :

1. la conception « light », en temps court, sur la base d'ateliers participatifs mobilisant une diversité d'acteurs, permet aux acteurs de partager leurs points de vue et idées d'innovations afin d'identifier des options d'amélioration semblant *a priori* pertinentes pour le plus grand nombre d'entre eux. Pour cela, une démarche en trois étapes, diagnostic (définition des enjeux) – brainstorming (identification de pistes) - évaluation (analyse multicritère) peut être mise en œuvre. Ce type d'approche a été formalisée pour imaginer des innovations radicales dans les élevages hollandais afin de faire face aux fortes externalités négatives : méthode RIO (Reflexive Interactive Design) (Bos *et al*., 2008).

Le modèle conceptuel présenté dans cette communication (Figures 1 à 5) peut être avantageusement utilisé dans cette démarche car il offre une représentation structurée du système étudié et fournit un cadre d'analyse pour articuler différents types de leviers d'action. Il invite à explorer des pistes variées en termes de nature de services ou bénéfices, de niveaux d'organisation et de coordination et de domaines d'action et à identifier les principaux compromis à trancher et verrouillages à lever. Ce modèle doit ainsi aboutir à l'élaboration d'un ensemble structuré de pistes d'innovations contextualisées.

2. la conception approfondie couple les approches participatives "light" à des approches quantitatives basées sur des modèles de fonctionnement des agroécosystèmes générant des indicateurs de performances. Les approches basées sur des jeux ont montré leur intérêt : il peut s'agir de jeu de plateaux pour l'allocation de ressources au sein d'une exploitation (Martin *et al.,* 2011b), ou de jeux de rôle (Etienne, 2011) pour sensibiliser les acteurs aux conditions et impacts des échanges de matières et d'information au sein d'un territoire.

Ces approches facilitent l'émergence de prémices d'innovations techniques, mais aussi de modalités de gouvernance propices aux services associés à l'intégration cultures-élevage. Elles contribuent dans le même temps à faciliter les apprentissages des participants.

Comme Barnaud *et al*. (2011) nous considérons que le concept de services écosystémiques (et socio-économiques) pourrait être structurant pour ces approches de conception participative. Il conduit les acteurs à définir les services attendus des réorganisations des systèmes agricoles puis les processus qui les fournissent et enfin les pratiques à mettre en œuvre. L'utilisation des modèles et des connaissances des experts pour évaluer dans quelle mesure les changements envisagés sont cohérents avec les objectifs affichés permet d'alimenter une méthode d'évaluation multicritère dans laquelle les participants peuvent débattre des valeurs et coefficients à attribuer aux différents indicateurs (Craheix *et al*., 2012b).

Conclusion

L'intégration agroécologique des cultures et de l'élevage engendre une complexification des systèmes, liée aux nécessités de gérer à la fois la circularité des flux pour limiter l'utilisation d'intrants et les émissions polluantes, et l'organisation des espaces pour favoriser l'expression de services écosystémiques. Cette complexification nécessite des apprentissages et des coordinations au sein des systèmes socio-écologique et socio-technique, pour optimiser la gestion agroécologique des écosystèmes tout en développant des services socio-économiques qui garantissent la viabilité de ce mode de gestion.

Concevoir des systèmes cultures-élevage intégrés à l'échelle des exploitations et du territoire implique de prendre en compte ces différentes dimensions de l'intégration, donc d'appréhender les différents niveaux d'interaction entre les éléments du système. Mobiliser des acteurs et des porteurs d'enjeux autour de cette problématique permet d'intégrer des visions et des connaissances localisées, des savoirs locaux pour construire des connaissances pour l'action. C'est aussi l'occasion d'outiller les acteurs du développement agricole pour renouveler l'approche du conseil aux agriculteurs, en créant des dispositifs d'action collective aptes à accompagner des transitions agro-écologiques : réseaux

d'apprentissage, organisation de la circularité des activités, construction d'identités de territoires autour de pratiques ou d'organisations collectives. Pour le chercheur, construire des outils et des méthodes pour équiper cette transition passe par les étapes de spécification du problème, de construction d'une qu'une grille d'analyse des innovations proposées par les acteurs et de production de modèles pour représenter le fonctionnement du système intégrant ces innovations. Nous avons développé ici une approche multi-niveaux et multi-domaines de l'intégration cultures-élevage, et présenté sa place dans une méthodologie de conception de systèmes mixtes. Pour construire cette méthodologie, il est nécessaire d'adopter une posture transdisciplinaire et de recherche-intervention visant la production de connaissances par l'articulation de savoirs de différentes natures (Béguin et Cerf, 2009).

Remerciements

Le travail présenté ici a été réalisé dans le cadre du projet européen CANTOGETHER (FP7, Grant agreement N°: 289328)

Références bibliographiques

Armitage D., Marschke M., Plummer R., 2008. Adaptive co-management and the paradox of learning. Global Environmental Change 18, 86-98.

Barnaud C., Antona M., Marzin J., 2011. Vers une mise en débat des incertitudes associées à la notion de service écosystémique. VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement 11, 1-19.

Béguin P., Cerf M., 2009. Dynamique des savoirs, dynamique des changements. Edt. Octarès, 308 p.

Bell L.W., Moore A.D., 2012. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. Agricultural Systems 111, 1-12.

Bos B., Koerkmap P.G., Gosselink J., Bokma S., 2008. Reflexive Interactive Design and its application in a project on sustainable dairy husbandry systems. Proc. of 8th European IFSA Symposium, 6 -10 July 2008, Clermont-Ferrand, France, pp. 87-100.

Chardon X., Raison C., Le Gall A., Morvan T., Faverdin P., 2008. Fumigene: a model to study the impact of management rules and constraints on agricultural waste allocation at the farm level. Journal of Agricultural Science 146, 521-539.

Compagnone C., 2004. Agriculture raisonnée et dynamique de changement en viticulture bourguignonne. In : Conein B., Ferrand A., Lazega E. (dir), Connaissances et relations sociales, Recherches Sociologiques 3, 103-121.

Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T., 2012 a. MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable. Innovations Agronomiques 20, 35-48.

Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Omon B., Reau R., Doré T, 2012 b. Multicriteria assessment of the sustainability of cropping systems: A case study of farmer involvement using the MASC model. 10th European IFSA Symposium, 1-4 July 2012 in Aarhus, Denmark.

Darré J.P., 1999. La production de connaissances pour l'action. Eds. INRA Maison des sciences de l'homme, Paris, 244 p.

Douthwaite B., Gummert M., 2010. Learning selection revisited: How can agricultural researchers make a difference? Agricultural Systems 103, 245-255.

Duru M., Fares M., Therond O., 2012. Un cadre conceptuel et méthodologique pour penser et conduire la transition agro-écologique de l'agriculture. Communication au symposium PSDR « Les chemins du développement territorial », 19-21 juin 2012, Clermont-Ferrand, France.

Etienne M., 2011. Companion modelling: a participatory approach to support sustainable development. Editions Quae, Versailles, 367 p.

FAO, 2001. Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. La Collection FAO: Agriculture 33. Rome, 2001, 322 p.

Faure G., Kleene P., 2004. Lessons from new experiences in extension in West Africa: Management advice for family farms and farmers' governance. The Journal of Agricultural Education and Extension 10, 1, 37-49.

Figuière C., Metereau R., 2012. At the crossroads of industrial ecology and Syal. Advance the sustainability of a Localized rural development. Communication aux XXVIII journées de l'ATM, Orléans, 11-13 juin 2012.

Folke C., Carpenter S., Walker B., Scheffer M., Chapin T., Rockström J., 2010. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. Ecology and Society 15, 20.

Fourcade C., Muchnik J., Treillon R., 2010. Coopération, territoires et entreprises agroalimentaires. Editions Quae, Collection Update Sciences & Technologies, Montpellier, 135 p.

Frontier S., 1977. Réflexions pour une théorie des écosystèmes. Bulletin d'écologie 8, 4, 445-464.

Galloway J.N., Trends R., Townsend A.R., Erisman J.W., Bekunda M., Cai Z., Freney J.R., Martinelli L.A., Seitzinger S.P., Sutton M.A., 2008. Transformation of the Nitrogen Cycle: Potential Solutions. Science 320, 889-892.

Greiner R., Patterson L., Miller O., 2009. Motivations, risk perceptions and adoption of conservation practices by farmers. Agricultural Systems 99, 86-104.

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.

Hill S.B., 1998. Redesigning Agroecosystems for Environmental Sustainability: A Deep Systems Approach. Systems Research and Behavioral Science 15, 391-402.

Horlings L.G., Marsden T.K., 2011. Towards the real green revolution? Exploring the conceptual dimensions of a new ecological modernisation of agriculture that could "feed the world". Global Environmental Change 21, 441-452.

Houdart M., Bonin M., Compagnone C., 2011. Social and spatial organization – assessing the agroecological changes on farms: case study in a banana-growing area of Guadeloupe. Economics of Governance 9, 15-30.

Kammili T., Hubert B., Tourrand J.F., 2011. A paradigm shift in livestock management: from resource sufficiency to functional integrity. 28th and 29th June 2008, Hohhot, China. Cardère éditeur, Lirac, France, 272 p.

Koohafkan P., Altieri A.M., Gimenez P.H., 2011. Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. International Journal of Agricultural Sustainability 10, 1, 61-75.

Larsen R.K., Swartling Å.G., Powell N., May B., Plummer R., Simonsson L., Osbeck M., 2012. A framework for facilitating dialogue between policy planners and local climate change adaptation professionals: Cases from Sweden, Canada and Indonesia. Environmental Science & Policy 23, 12-23.

Le Roux R., Barbault J., Baudry J., Burel F., Doussan I., Garnier E., Herzog F., Lavorel S., Lifran R., Roger-Estrade J., Sarthou J.P., Trommetter M. (éditeurs), 2008. Agriculture et biodiversité, valoriser les synergies. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA.

Lemaire G., 2007. Interactions entre systèmes fourragers et systèmes de grandes cultures à l'échelle d'un territoire. Intérêts pour l'environnement. Fourrages 189, 19-32.

Martin G., Martin-Clouaire R., Rellier J.-P., Duru M., 2011 a. A simulation framework for the design of grassland-based beef-cattle farms. Environmental Modelling and Software 26, 371-385.

Martin G., Theau J. P., Therond O., Martin-Clouaire R., Duru M., 2011 b. Diagnosis and simulation: a suitable combination to support farming systems design. Crop and Pasture Science 62, 328-336.

Mazoyer M., Roudart L., 2006. A history of world agriculture from the neolitic age to the current crisis. Earthscan, New York, NY.

Meynard J.M., Dedieu B., Bos B., 2012. Re-design and co-design of farming systems: An overview of methods and practices. In: I. Darnhofer, D. Gibbon, and B. Dedieu (Eds.). Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic. Dordrecht: Springer, pp. 407–431.

Newig J., Haberl H., Pahl-Wostl C., Rotman D.S., 2008. Formalise and Non-Formalised Methods in Resource Management – Knowledge and Social Learning in Participatory Processes: An Introduction. Systemic Practice and Action Research 21, 381-387.

Ostrom E., 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of socio-ecological systems. Science 325, 5939, 419-422.

Oudenhoven A., Petz K., Alkemade R., Hein L., De Groot R., 2012. Framework for systematic indicator selection to assess effects of land management on ecosystem services. Ecological Indicators 21, 110-122.

Pahl-Wostl C., Hare M., 2004. Processes of Social Learning in Integrated resources Management, Journal of Community & Applied Social Psychology 14, 193-206.

Pecqueur B., 2001. Qualité et développement territorial : l'hypothèse du panier de biens et de services territorialisés. Économie Rurale 261, 37-49.

Pelzer E., Fortino G., Bockstaller C., Angevin F., Lamine C., Moonen C., Vasileiadis V., Guérin D., Guichard L., Reau R., Messean A., 2012. Assessing innovative cropping systems with DEXiPM, a qualitative multi-criteria assessment tool derived from DEXi. Ecological Indicators 18, 171-182.

Poux X., Narcy J.B., Ramain B., 2009. Réinvestir le saltus dans la pensée agronomique moderne : vers un nouveau front eco-politique ? L'Espace Politique [En ligne], vol. 9.

Power A.G., 2010. Ecosystem services and agriculture: trade offs and synergies. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B. 365, 2959–2971.

Russelle M.P., Entz M.H., Franzluebbers A.J., 2007. Reconsidering Integrated Crop–Livestock Systems in North America. Agronomy Journal 99, 325–334.

Sadok W., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Messean A., Doré T., 2009. MASC, a qualitative multi-attribute decision model for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. Agronomy for Sustainable Development 29, 447-461.

Scherr S.J., McNeely J.A., 2008. Biodiversity conservation and agricultural sustainability: towards a new paradigm of "ecoagriculture" landscapes. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences 363, 477-94.

Schiere J.B., Darnhofer I., Duru M., 2012. Dynamics in farming systems: Of changes and choices. In: I. Darnhofer, D. Gibbon, and B. Dedieu. Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic. Dordrecht: Springer, pp. 339–365.

Schmitt B., Larue S., 2009. Elevages intensifs et environnement. Les effluents: menace ou richesse ? Communication au colloque Académie d'Agriculture de France, In Vivo, MEEDDAT, Paris, 28 avril 2009.

Torre A., 2000, Economie de la Proximité et Activités Agricoles et Agro-alimentaires, Revue d'Economie Régionale et Urbaine 3, 407-426.

Vanclay F., 2004. Social principles for agricultural extension to assist in the promotion of natural resource management. Australian Journal of Experimental Agriculture 44(3), 213 – 222.

Van Der Werf H., Kanyarushoki C., Corson M., 2009. An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment. Journal of Environmental Management 90, 3643-3652.

Vinck D., 1999. Les objets intermédiaires dans les réseaux de coopération scientifique. Contribution à la prise en compte des objets dans les dynamiques sociales. Revue Française de Sociologie XI, 385-414.

Voinov A., Bousquet F., 2010. Modelling with stakeholders. Environmental Modelling and Software 25, 1268–1281.

Walker, B., Carpenter, S., Anderies, J., Abel, N., Cumming, G., Janssen, M., Lebel, L., Norberg, J.,Peterson, G. D., Pritchard, R., 2002. Resilience Management in Social-ecological Systems: a Working Hypothesis for a Participatory Approach. Conservation Ecology 6, 1-14.

Wardle D.A., Bardgett R.D., Klironomos J.N., Setälä H., Van der Putten W.H., Wall D.H., 2004. Ecological Linkages Between Aboveground and Belowground Biota. Science 304, 5677, 1629-1633.

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

Williams B.K., 2011. Adaptive management of natural resources-framework and issues. Journal of environmental management 92, 1346-1353.