

L'analyse intégrée de la gestion des agroécosystèmes dans les territoires, en référence aux services écosystémiques attendus des paysages

A. Gibon, S. Ladet, G. Balent

Les services écosystémiques des paysages agricoles dépendent de nombreux processus écologiques et de leurs interactions complexes avec la gestion des terres. L'approche méthodologique ici proposée contribue à améliorer la connaissance de ces processus afin de pouvoir contrôler leur état et leur dynamique par une gestion adaptée.

RÉSUMÉ

Nous ne disposons pas de méthodologie bien établie pour étudier le rôle des interactions entre les processus écologiques et la gestion des terres sur les services écosystémiques dans les paysages agricoles. Nous proposons un cadre général pour mettre en place des recherches interdisciplinaires sur la question dans des études de cas régionales. Ce cadre comprend un modèle conceptuel des interactions agriculture-paysage, et une méthode d'étude du système local de gestion agricole des terres à l'usage des agronomes impliqués dans ce type de recherche. Cette approche permet de mettre à jour des processus mal connus de l'évolution de cette gestion et de ses impacts sur les paysages comme, par exemple, ceux de la restructuration des territoires d'exploitation.

SUMMARY

Integrated assessment of farmer's land management practices for ecosystem services at the landscape level

The ecosystem services provided by agricultural landscapes depend on numerous ecological processes, as well as on the latter's multiscale interactions with farmland management practices. These processes and their interactions are very complex and, currently, we lack a well-supported methodology for examining their effects on landscape-level ecosystem services. In this study, we have developed a conceptual model that can be used in interdisciplinary efforts to describe the interactions between the agricultural activities and the ecological landscape. We also propose a way to examine the effect of local management practices on agricultural lands. Our approach may be used to shed light on poorly understood shifts in land management and their impacts on landscapes, such as those resulting from farmland restructuring.

Introduction

Les travaux sur l'environnement et la biodiversité ont montré que les mosaïques d'écosystèmes composant les paysages ont de nombreuses fonctions et fournissent de nombreux biens et services essentiels à considérer pour faire face aux changements d'une ampleur et rapidité sans précédent que connaît notre environnement depuis quelques dizaines d'années (MEA, 2005). L'étude de l'évolution de la biodiversité et des multiples fonctions et services des écosystèmes au niveau du paysage pris dans sa globalité présente des difficultés, car leur évolution est sous-tendue par une quantité importante de processus écologiques qui interviennent à une grande diversité d'échelles spatiales et temporelles (LEROUX *et al.*, 2008 ;

WU, 2013). Ces processus interagissent entre eux selon des schémas complexes que l'on est loin de savoir expliquer en l'état actuel des connaissances, mais dont on sait qu'ils sont à l'origine de l'existence d'antagonismes ou de synergies, selon le cas, entre fonctions et/ou services, et qu'ils présentent en outre des interactions avec la gestion des terres, elles aussi mal connues (CROSSMAN *et al.*, 2013 ; HAINES-YOUNG, 2009). On sait par exemple que l'efficacité de pratiques de gestion préconisées dans les mesures agri-environnementales pour préserver la biodiversité ou maintenir et améliorer certaines fonctions ou services des paysages a souvent été limitée par un manque de pertinence des pratiques recommandées ou des zonages effectués pour leur application au regard des processus sous-jacents (par exemple DOBREMEZ et PERRET, 1998).

AUTEURS

INRA, UMR 1201 Dynafor, 24 Chemin de Borde Rouge – Auzeville, CS 52627, F-31326 Castanet-Tolosan ; annick.gibon@toulouse.inra.fr

MOTS CLÉS : Agroécologie, exploitation agricole, gestion du territoire, méthode, paysage, prairie, services écosystémiques, système d'exploitation.

KEY-WORDS : Agroecology, ecosystem services, farm, farming system, grassland, land management, landscape, method.

RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE : Gibon A., Ladet S., Balent G. (2015) : "L'analyse intégrée de la gestion des agroécosystèmes dans les territoires en référence aux services écosystémiques attendus des paysages", *Fourrages*, 222, 93-102.

Dans les paysages agricoles, les interactions entre la gestion et le fonctionnement des écosystèmes sont rendues complexes par la multiplicité et la diversité des acteurs qui interviennent dans la gestion des terres et par les discordances qui existent entre, d'une part, les niveaux d'organisation spatiaux et temporels de fonctionnement des processus écologiques et, d'autre part, ceux des décisions de gestion (PELOSI *et al.*, 2010). Selon ces auteurs, la difficulté à en rendre compte réside pour une part non négligeable dans la faiblesse actuelle des cadres théoriques et méthodologiques dont on dispose pour les aborder.

L'étude des relations entre l'évolution des paysages, leur biodiversité et leurs services écosystémiques et les pratiques de gestion est ainsi une question vive pour la recherche, rendue ardue par la multiplicité et la complexité des processus en jeu. On ne dispose pas encore de méthodologie générale bien établie pour en traiter. Il est largement admis au plan international que le progrès des connaissances sur ces questions passe par la mise en œuvre sur le terrain d'études de cas interdisciplinaires « spatialement explicites » associant différentes échelles de temps (WU, 2013 ; TURNER *et al.*, 2007). L'expression « spatialement explicite » s'est imposée dans la littérature pour désigner les recherches où les liens entre la mosaïque du paysage et sa gestion sont analysés à partir de l'échelle des écosystèmes élémentaires (WU et DAVID, 2002). Le terme de gestion n'a pas ici son sens habituel en agriculture. Les pratiques de gestion vues sous cet angle englobent des pratiques intentionnelles d'utilisation ou de contrôle des écosystèmes et aussi toutes les interventions qui en impactent la composition et la dynamique. Pour développer un cadre interdisciplinaire d'analyse intégrée des interactions entre les activités agricoles et les paysages, en référence à l'évolution de leurs services écosystémiques, nous avons adopté une démarche de modélisation systémique, que nous avons alimentée au moyen d'une revue des avancées des théories et méthodes i) de l'écologie du paysage et de la recherche interdisciplinaire sur les relations entre systèmes écologiques et systèmes sociaux, et ii) de celles relatives à la gestion des agroécosystèmes en sciences agronomiques. La modélisation systémique permet en effet de progresser dans la compréhension de systèmes complexes mal connus du monde réel selon une approche générale qui comporte (LEGAY, 1997) :

- l'élaboration d'un modèle de représentation (dit aussi modèle conceptuel) du système réel dont on cherche à rendre compte et l'identification de ses composantes (éléments et sous-systèmes) essentielles à considérer au regard de la question étudiée ;

- l'élaboration d'une méthode d'analyse intégrée de l'organisation et de la dynamique d'ensemble du système considéré ;

- et l'application du cadre d'analyse intégrée ainsi défini à l'élaboration de diagnostics de l'organisation et de la dynamique du système considéré en conditions réelles dans le cadre d'études de cas. Cette dernière étape permet de mettre à l'épreuve le modèle et la méthode d'analyse intégrée et de les réviser au besoin pour les consolider.

Dans ce premier article, nous proposons le cadre général d'étude des relations agriculture - paysage en référence au changement de la biodiversité et des services des écosystèmes qui résulte de ce travail. Ce cadre associe **un modèle de représentation multi-échelles des interactions entre la gestion agricole et la dynamique d'un paysage et une méthode d'étude intégrée de l'organisation et du changement de la gestion agricole des terres** à l'usage des agronomes qui participent à des travaux interdisciplinaires sur la question.

Dans un deuxième article à suivre (GIBON *et al.*, 2015, en préparation), nous fournirons une illustration de l'application de ce cadre à l'étude de l'organisation et de l'évolution de la gestion des agroécosystèmes à l'échelle du paysage dans le Parc National des Pyrénées.

L'objectif de ces deux articles est de rendre compte d'une recherche effectuée dans le cadre du projet ANR « MOUVE » sur l'intensification écologique de l'élevage. La **notion d'intensification écologique (IE)**, issue de la réflexion sur le changement climatique et ses impacts sur la sécurité alimentaire mondiale, cherche à répondre au besoin d'augmenter la productivité à l'hectare de l'agriculture à l'échelle mondiale tout en mobilisant au maximum les processus écologiques concernés (BOMMARCO *et al.*, 2013). Certains auteurs voient cependant l'IE comme un concept plus large et intégrateur qui permet de jeter un pont entre productivité et conservation biologique, entre préservation de modes de vie et services écosystémiques des agroécosystèmes dans les territoires (voir à ce sujet BALENT *et al.*, 2015). Ainsi posée, la question de l'IE rejoint pleinement la réflexion sur le développement durable de l'agriculture en référence aux services écosystémiques attendus des paysages agricoles dans les territoires.

1. Le modèle conceptuel des relations entre pratiques agricoles et paysage

Le modèle général des interactions agriculture - paysage que nous proposons en référence aux changements des services écosystémiques s'inspire pour partie des avancées des recherches interdisciplinaires regroupées sous le terme de « science de la durabilité » (KATES, 2011). Celles-ci sont à l'origine d'une théorie générale des interactions réciproques entre systèmes naturels et systèmes sociaux, qui permet d'en comprendre la complexité et d'en évaluer la durabilité au travers du **concept de système socio-écologique (SSE)** (GUNDERSON et HOLLING, 2002 ; LIU *et al.*, 2007). Ce concept considère que **les systèmes naturels et les systèmes sociaux forment ensemble, à des échelles géographiques variées, des systèmes complexes adaptatifs composés d'un sous-système écologique, un sous-système social et un sous-système d'interactions** qui les relie étroitement entre eux et conditionne leurs capacités adaptatives.

Nous postulons que le paysage agricole (vu comme un système écologique) et l'agriculture (vue comme un système social) peuvent être considérés comme un système socio-écologique, où les relations entre les

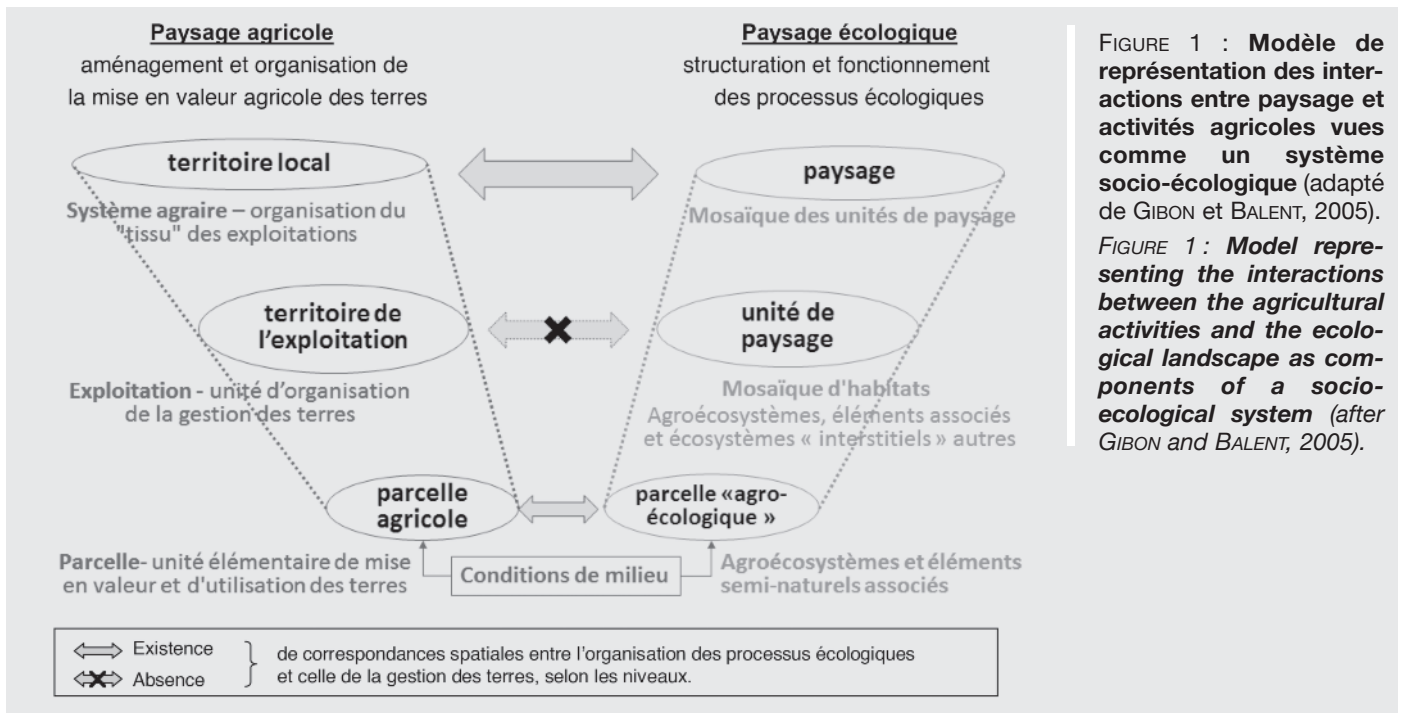


FIGURE 1 : Modèle de représentation des interactions entre paysage et activités agricoles vues comme un système socio-écologique (adapté de GIBON et BALENT, 2005).

FIGURE 1 : Model representing the interactions between the agricultural activities and the ecological landscape as components of a socio-ecological system (after GIBON and BALENT, 2005).

écosystèmes et leur gestion s'organisent selon une double hiérarchie spatiale, comportant chacune trois principaux niveaux d'organisation (figure 1).

Ce modèle rend compte de principes communément utilisés en France, explicitement ou implicitement, pour l'étude et la modélisation des relations entre les dynamiques écologiques et les pratiques de gestion des agriculteurs au carrefour de l'écologie des paysages et des sciences agronomiques (par exemple DEFFONTAINES *et al.*, 1995 ; BALENT *et al.*, 1998 ; LEROUX *et al.*, 2008 ; GIBON *et al.*, 2010). **La parcelle agricole en constitue l'unité spatiale de base, à condition de la considérer comme composée non seulement d'un agrosystème sensu stricto, i.e. une culture assolée ou un agroécosystème pérenne, mais aussi d'éléments semi-naturels associés** tels que bordures, haies, arbres isolés... Ce modèle permet aussi de consolider les fondements de ce type de recherches, en en élargissant les principes. Il met en exergue la **nécessité d'étudier l'organisation spatiale des pratiques agricoles et les logiques qui sous-tendent leur évolution selon une approche multiniveaux**. Il montre que leur approche doit porter non seulement sur la gestion à court et à long terme des parcelles et des exploitations, mais aussi sur la gestion de la mosaïque paysagère par l'ensemble des exploitations qui exploitent le territoire. **Ce modèle offre ainsi un cadre pour rendre compte de manière intégrée des interactions entre les activités agricoles et le paysage écologique en référence à sa biodiversité et ses services écosystémiques.**

La délimitation spatiale de l'étendue du SSE à prendre en compte dans ce modèle se fonde sur l'approche des systèmes agraires développée par les agroéconomistes. Ceux-ci définissent le système agraire comme « un type d'agriculture historiquement constitué et géographiquement localisé, composé d'un écosystème cultivé caractéristique et d'un système social productif défini » en précisant que « ce

sont les interactions réciproques entre les éléments relevant d'une part de l'écosystème cultivé et d'autre part du système social productif qui confèrent à l'ensemble le caractère de système » (COCHET et DEVIENNE, 2006 ; COCHET, 2007). Si l'on remplace la notion d'écosystème cultivé par celle de paysage écologique, cette conception permet de délimiter l'espace géographique et le système social pertinents à considérer dans l'étude des interactions entre l'agriculture et le paysage écologique.

Pour les agroéconomistes, la clé du diagnostic du fonctionnement et de la dynamique d'un système agraire réside dans l'étude de la diversité des exploitations vue comme le produit d'une dynamique historique de différenciation conduisant à la coexistence, au sein d'un même territoire, de plusieurs types de systèmes de production. Selon un principe similaire, nous postulons que la clé de la compréhension de l'organisation et de l'évolution des relations entre les activités agricoles et le paysage écologique vues comme un SSE réside dans **l'étude de la diversité des exploitations considérée comme le produit d'une dynamique de différenciation historique des rapports qu'elles entretiennent avec les écosystèmes cultivés et non cultivés du paysage agricole.**

2. Le système « famille - exploitation » vu comme un système socio-écologique

L'**exploitation** vue comme un système complexe associant la famille et l'exploitation **peut être considérée comme un système socio-écologique (SSE)** dans la mesure où **elle constitue une association au long cours entre un système écologique** (le territoire d'exploitation, qui représente une portion d'écosystèmes) **et un système social** (la famille). Les pratiques de gestion des écosystèmes cultivés et non cultivés qui occupent son territoire sont placées au cœur du système d'interactions réciproques qui les

lient. Le concept de système famille exploitation (SFEA), qui fonde « l'approche globale » du complexe famille - exploitation utilisée en France (BONNEVIALE *et al.*, 1989), et les concepts voisins employés dans certains travaux internationaux sur les *farming systems* (GIBON *et al.*, 1999a ; DARNHOFER *et al.*, 2010) offrent une base théorique et pratique pour aborder l'exploitation agricole comme un SSE. Le SFEA est en effet défini comme un système complexe adaptatif, ouvert sur son environnement, qui associe une unité de production agricole, l'exploitation, et une famille qui la détient et la gère en fonction de ses savoirs, valeurs et projets, et qui fournit l'essentiel du capital et travail nécessaire à son fonctionnement et à son développement. Ce concept peut être facilement complété et adapté à l'étude du complexe famille - exploitation perçu comme un SSE.

L'approche du territoire de l'exploitation comme une portion d'écosystèmes et l'étude de sa gestion sous l'angle socio-écologique peuvent se fonder sur le concept agronomique du **territoire de l'exploitation vu comme un système** (MORLON et BENOÎT, 1990). Ce concept, qui permet d'aborder ce territoire en référence à la fois à l'hétérogénéité des conditions pédoclimatiques du milieu et aux particularités de son agencement géographique, a été développé pour comprendre comment leur combinaison conditionne les décisions de l'agriculteur relatives à la nature et à la gestion technique des écosystèmes cultivés au niveau de la parcelle et de l'ensemble du parcellaire. Pour aborder le territoire d'exploitation sous l'angle socio-écologique, il est nécessaire d'élargir ce concept aux caractéristiques des agroécosystèmes et pratiques de gestion de l'agriculteur qui relèvent de logiques autres que celles liées à la production agricole ou découlant des réglementations et incitations des politiques publiques. Cela demande en particulier de considérer les caractéristiques et pratiques qui peuvent être liées aux diverses fonctionnalités et services non productifs des agroécosystèmes et éléments semi-naturels associés, et celles qui fondent et accompagnent l'évolution de la taille de l'exploitation et la reconfiguration de l'agencement géographique de son territoire.

L'approche de la famille vue comme le sous-système social du SSE qu'elle forme avec l'exploitation peut quant à elle s'appuyer sur le concept de « **système d'activités et de revenus** » de la famille, mis au point par les socio-économistes pour rendre compte des formes d'exercice des activités agricoles. Ceux-ci démontrent en effet que les façons dont les familles font de l'agriculture mettent en jeu plusieurs types de logiques répondant à des raisons économiques et sociales diverses qui vont bien au-delà de considérations liées à l'investissement en capitaux, à la fourniture de revenu et au travail (LAURENT *et al.*, 1998 ; MUNDLER *et al.*, 2007). Ils considèrent aussi comme indispensable de s'intéresser à l'ensemble de ces logiques quand, comme c'est le cas ici, on cherche à comprendre comment les exploitations fonctionnent globalement et comment elles se transforment au cours du temps. Pour étudier l'exploitation comme un SSE, il est donc nécessaire de s'intéresser aux caractéristiques et logiques de la famille relatives à l'ensemble de ses acti-

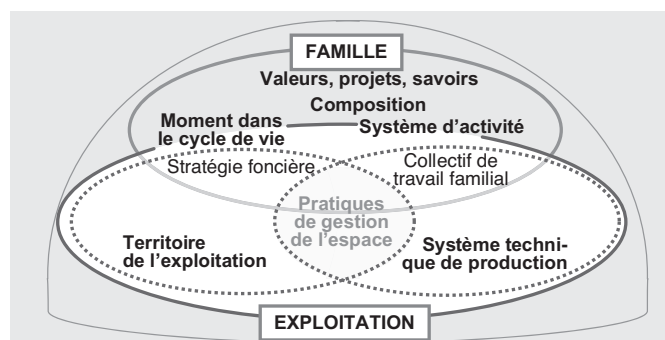


FIGURE 2 : Un modèle du système famille - exploitation vu comme un système socio-écologique (adapté de GIBON *et al.*, 2010).

FIGURE 2 : Model of the family - farm system, viewed as a socioecological system (after GIBON *et al.*, 2005).

vités et gagne-pain et à son mode de vie, en référence particulière à ses façons de concevoir les agroécosystèmes, les paysages écologiques et leur gestion.

Au final, **chercher à représenter l'exploitation comme un SSE amène à chercher à comprendre la structure, le fonctionnement et l'évolution du complexe famille - exploitation selon un modèle qui combine des développements apportés au concept de SFEA par diverses disciplines et écoles de pensée et un point de vue socio-écologique sur les relations à court et long terme que la famille entretient avec les écosystèmes du paysage agricole local.** Un schéma de ses composantes et sous-systèmes essentiels à considérer selon nous pour en développer l'étude et la modélisation est proposé dans la figure 2.

3. Cadre méthodologique associé à l'usage des agronomes

Le principe de la modélisation systémique, une fois construit un modèle conceptuel du système à considérer, est de s'attacher à élaborer une méthode pour son étude en conditions réelles (LEGAY, 1997). Il s'agit en fait de déterminer l'ensemble des méthodes à mettre en œuvre pour analyser ses différentes composantes identifiées comme essentielles au regard de la question étudiée et leurs interactions, afin de produire les différentes « pièces du puzzle » à assembler pour construire une représentation intégrée de l'organisation et de la dynamique d'ensemble du système dans la(les) situation(s) locale(s) étudiée(s).

A la lueur de ce principe, la tâche qui incombe aux agronomes qui participent à des recherches interdisciplinaires intégrées sur les relations entre les activités agricoles et les paysages écologiques est d'éclairer l'organisation et les processus de changement de la gestion agricole des écosystèmes de la parcelle agroécologique au paysage pris dans son ensemble. Ces agronomes sont ainsi en charge de **l'étude d'un sous-système qui englobe la mosaïque paysagère des écosystèmes et sa gestion à court et long terme par les acteurs du système social**

	Fonctionnement au temps t	Évolution
Territoire local	Organisation spatiale et fonctionnelle du tissu des exploitations	Restructuration du tissu des exploitations
Territoire d'exploitation	Agencement du territoire et gestion de l'exploitation	Reconfiguration du territoire et trajectoire d'évolution de l'exploitation
Parcelle agroécologique	Caractéristiques de la parcelle et modalités de gestion	Modification de la parcelle et histoire culturelle
Remarque : Les interactions n'ont pas été représentées pour des raisons de simplification du schéma		

TABLEAU 1 : Les composantes du système local de gestion agricole des terres, composantes essentielles pour une analyse intégrée des relations entre l'agriculture et le paysage écologique (adapté de GIBON et BALENT, 2005).

TABLE 1 : Components of a local agricultural management system that it is essential to consider when conducting an integrated analysis of the interactions between agriculture and ecological landscape (after GIBON and BALENT, 2005).

agricole, que nous appelons ici **système local de gestion agricole des terres**, en écho à la terminologie internationale en vigueur (par exemple TURNER *et al.*, 2007).

La compréhension de l'organisation et de la dynamique du système local de gestion agricole des terres ainsi défini demande de **conduire et d'articuler entre elles des analyses des pratiques de gestion des écosystèmes et des dynamiques qui sous-tendent leur évolution à chacun des niveaux essentiels de leur organisation que sont la parcelle, le territoire de l'exploitation et le territoire du système agraire**. Les composantes essentielles à considérer sont présentées dans le tableau 1.

■ Les méthodes disponibles

Au niveau de la parcelle et de sa gestion, les **notions et méthodes d'étude du système de culture** autorisent la compréhension des relations entre les caractéristiques du milieu, les choix des agriculteurs relatifs à la nature et la gestion technique des agroécosystèmes cultivés ou (plus récemment) à la gestion de la parcelle agroécologique telle que définie plus haut. Elles permettent de comprendre les logiques de gestion des cultures en référence i) à un large éventail de processus liant le fonctionnement des agroécosystèmes aux conditions de milieu (sol, climat, géomorphologie et environnement de la parcelle, écosystèmes semi-naturels associés et bords de champ...), ii) aux séquences d'opérations techniques appliquées sur la campagne agricole ou quelques années (successions de cultures assolées) et iii) à leurs impacts sur la production agricole et l'environnement (AUBRY et MICHEL-DOUNIAS, 2006). On dispose aussi, **pour les prairies permanentes**, de cadres et méthodes qui permettent d'aborder les interactions entre leur composition floristique, leur gestion, leur biodiversité et certains de leurs services écosystémiques (*cf.* par exemple BALENT *et al.*, 2015). Les notions de trajectoires d'évolution et d'histoire culturelle des parcelles prairiales aident en outre à comprendre l'influence de leur voisinage et de l'histoire de leur gestion sur leurs caractéristiques et propriétés (GAUJOUR *et al.*, 2011 ; MOTTET *et al.*, 2006).

Au niveau du territoire de l'exploitation et de sa gestion, les différentes **notions et méthodes d'étude des systèmes techniques de production** permettent d'aborder

les relations entre les caractéristiques du parcellaire, la gestion des agroécosystèmes qui l'occupent et la gestion technique d'ensemble d'une exploitation, au moyen de **modèles d'action de l'agriculteur** et des modèles relatifs au territoire de l'exploitation, aux itinéraires techniques pratiqués sur les parcelles et à l'organisation des chantiers d'opérations techniques (par exemple AUBRY et MICHEL-DOUNIAS, 2006). Elles permettent de comprendre les logiques de l'agriculteur dans l'organisation sur la campagne agricole de la gestion de la production des agroécosystèmes occupant le territoire de son exploitation en référence aux atouts et contraintes pédoclimatiques et agroécologiques des parcelles, à la géométrie du parcellaire et à l'organisation du travail sur l'exploitation. Pour les systèmes d'élevage à base d'herbe, les **modèles et méthodes d'étude du système fourrager** permettent de comprendre ces logiques en prenant en compte l'imbrication entre les logiques relatives à la production fourragère et celles relatives à la conduite du troupeau ou d'autres dimensions de la gestion du système d'élevage (par exemple MOREAU *et al.*, 2009 ; GIRARD *et al.*, 2001). Les **modèles et méthodes de bilan technico-économique** aident pour leur part à comprendre les logiques de la gestion dans leurs dimensions économiques (CHARROIN *et al.*, 2012).

Au niveau du territoire régional et du tissu des exploitations qui l'exploitent, des **méthodes d'approche spatialisée de la gestion de la mosaïque paysagère agricole** ont été développées depuis 1990 à l'occasion de travaux de modélisation de flux de matières (érosion, pollution, gestion de l'eau d'irrigation). Ces travaux visant à évaluer les impacts de scénarios de changement des systèmes de culture ont mis au point des méthodes d'établissement de cartes des agroécosystèmes à partir d'images satellitaires et/ou (plus récemment) des îlots du Registre PAC Graphique sur des territoires géographiques délimités en fonction du (ou des) flux étudié(s) (MARTIN *et al.*, 2006). Les changements des systèmes de culture à l'échelle de la parcelle y ont généralement été simulés au moyen de jeux de règles de décision technique représentés par des algorithmes. Quelques travaux récents se sont fondés sur des enquêtes et méthodes de recherche participative pour tenir compte du voisinage des parcelles, de l'organisation spatiale des territoires des exploitations et/ou des systèmes techniques de production pratiqués en situation réelle dans les algorithmes

utilisés (par exemple VERTÈS *et al.*, 2014) ou encore pour construire avec des agriculteurs et évaluer des scénarios de changement des pratiques de gestion au moyen de modèles à base d'agents ou de jeux de rôle (par exemple SOUCHÈRE *et al.*, 2010).

Des **méthodes d'approche de la diversité des territoires individuels d'exploitation** ont été développées dans des études régionales. Restés peu nombreux, ces travaux ont le plus souvent porté sur les liens entre leur agencement géographique et la conduite des systèmes techniques de production et ont été effectués **au moyen de modèles graphiques construits à partir de chorèmes** (LARDON et CAPITAINÉ, 2008). La diversité des territoires d'exploitation a aussi été abordée au moyen de méthodes **d'analyse multivariées** dans quelques travaux d'écologie du paysage, par exemple par THENAIL et BAUDRY (2004), dans une étude des facteurs de différenciation de l'usage des parcelles dans le bocage breton, et GIBON *et al.* (2004) et MOTTET *et al.* (2006), dans des analyses de l'évolution de l'organisation et la biodiversité de paysages pyrénéens.

De nombreuses méthodes d'enquête et outils de construction de typologie pour l'analyse de la diversité de la structure et du fonctionnement des exploitations **ont été mis au point** dans les travaux de diagnostic régional finalisés par le développement (pour une revue récente voir MADRY *et al.*, 2013). Des méthodes de caractérisation et de typologie des trajectoires individuelles d'évolution des exploitations en référence à l'évolution du contexte technique et économique sur plusieurs décennies ont été élaborées pour comprendre la diversité régionale de leurs modalités de changement technique (CAPILLON, 1993) et les processus historiques de différenciation des systèmes de production (COCHET et DEVIENNE, 2006).

Enfin, **des outils de compréhension de la différenciation des paysages agricoles en terroirs en lien avec l'hétérogénéité des conditions de milieu et l'histoire des systèmes agricoles** sont fournis par certains travaux interdisciplinaires (par exemple BONNEMAIRE *et al.*, 1977 ; BALENT et BARRUÉ-PASTOR, 1986).

■ Les manques à combler

Les sciences agronomiques *sensu lato* fournissent donc de nombreux éléments de méthode adaptés ou adaptables à l'étude d'un système local de gestion agricole des terres en référence à ses interactions avec le paysage écologique. Plusieurs difficultés restent toutefois à résoudre :

- En l'état actuel des connaissances sur les processus de changement des paysages écologiques et de leurs interactions avec la gestion, **on ne dispose pas de modèle intégré des processus de changement des systèmes naturels** équivalents aux modèles agro-hydrologiques ou de ruissellement érosif pour guider les choix de modélisation des composantes de la gestion importantes à considérer. Les agronomes qui participent à des recherches interdisciplinaires intégrées sur l'évolution des paysages écologiques en référence à leur biodiversité et/ou leurs services doivent de ce fait s'efforcer de fournir aux écologues des données et éléments de compréhension aussi complets

que possible sur la gestion des écosystèmes et son évolution spatio-temporelle en tout point de la mosaïque paysagère, pour leur permettre d'avancer dans la connaissance des processus écologiques qui sous-tendent les changements des propriétés du paysage, en vue d'arriver avec eux à améliorer la compréhension et la modélisation de leurs interactions réciproques avec la gestion.

- **Les méthodes et outils disponibles comportent des manques importants pour aborder de manière spatialement explicite l'histoire de la gestion des terres**, alors qu'on sait qu'elle a un poids important sur le fonctionnement écologique, la biodiversité et les services actuels et futurs des paysages. Par exemple, les processus de reconfiguration des territoires des exploitations sont restés quasiment inexplorés, en dépit de l'importante restructuration de l'agriculture au cours de l'histoire récente. On reste ainsi particulièrement démunis pour étudier en situation réelle l'évolution historique de la gestion de la mosaïque paysagère à l'échelle des parcelles agroécologiques, pourtant essentielle à la compréhension et au contrôle des interactions entre pratiques agricoles et services des paysages.

La réponse que nous tentons d'apporter ici à ces limites repose elle aussi sur les principes de la modélisation systémique. Une fois identifiés les méthodes utilisables et les manques dans l'arsenal méthodologique disponible pour étudier les composantes essentielles du système et leurs interactions, il s'agit de combler ces manques en mettant au point des méthodes permettant de les aborder, en conservant à l'esprit que toutes les méthodes doivent être compatibles entre elles pour pouvoir être articulées en une méthode d'étude intégrée de l'organisation et de la dynamique d'ensemble du système. La mise au point des méthodes d'étude des composantes mal connues du système et de la méthode intégrée exige alors de mettre en œuvre un dispositif de collecte et d'analyse de données de terrain exploratoire et un travail itératif d'élaboration de résultats, où l'on combine en boucle démarche déductive d'application et démarche inductive de reconfiguration des modèles et méthodes d'analyse quand nécessaire (LEGAY, 1997). Dans la définition du dispositif de recherche à caractère exploratoire que nous proposons ici, nous avons mis l'accent sur l'étude des composantes du système local de gestion agricole des terres les plus mal connues en l'état de l'art actuel :

- la diversité régionale des types d'organisation géographique des territoires des exploitations en référence à leurs modalités d'insertion dans le paysage écologique, et ses relations avec les logiques qui président à la gestion des écosystèmes qui les composent ;

- les relations entre les modes d'organisation spatiale et fonctionnelle des territoires des exploitations et leurs types de fonctionnement technique et global ;

- la diversité des trajectoires d'évolution des exploitations en référence aux changements de configuration et gestion des territoires et systèmes de production, et aux diverses logiques qui sous-tendent les systèmes d'activités et le revenu des familles ;

- les relations entre i) la composition et l'organisation spatiale du tissu régional des exploitations et la gestion de la mosaïque des agroécosystèmes et ii) les processus qui conditionnent leurs évolutions respectives et leurs interactions réciproques à l'échelle du paysage.

4. Dispositif général d'étude intégrée d'un système local de gestion agricole des terres

■ Définition de la période historique à considérer

L'expérience montre qu'il est nécessaire, pour comprendre et modéliser l'évolution de systèmes complexes du monde réel, d'identifier un état de référence à une date donnée pour analyser les changements survenus ultérieurement. Plusieurs raisons nous conduisent à proposer la situation du début des années 1950 comme état de référence pour l'étude d'un système local de gestion agricole des terres en référence au paysage écologique. Les changements des paysages agricoles et les systèmes agraires européens ont connu une accélération sans précédent à partir des années 1950, sous l'effet conjugué des changements socio-économiques, des développements technologiques et des politiques agricoles (ANTROP, 2005 ; CHARROIN *et al.*, 2012). Il reste par ailleurs possible, dans la plupart des cas, de mobiliser les souvenirs des populations agricoles concernées dans le cadre d'enquêtes, pour parer à l'absence d'archives spatialement explicites sur la gestion des terres (MOTTET *et al.*, 2006). Enfin, les missions photographiques de l'Institut Géographique National (IGN) offrent des ressources facilement mobilisables sur l'évolution des mosaïques paysagères depuis cette date.

■ Définition du territoire à étudier et des exploitations à enquêter

Le territoire géographique étudié doit être délimité en référence aux niveaux d'organisation des systèmes agraires, dont les territoires villageois et petites régions naturelles sont encore aujourd'hui les unités les plus pertinentes dans la plupart des situations (COCHET et DEVIENNE, 2006). La collecte par enquête et la gestion d'informations spatialement explicites sur les pratiques de gestion actuelles et passées de toutes les parcelles agricoles d'un territoire et sur le fonctionnement et l'histoire des exploitations qui les détiennent exigent un travail d'une ampleur considérable. De ce fait, la délimitation du territoire à étudier doit reposer sur la sélection d'**un ensemble de communes contiguës comportant un nombre total d'exploitations suffisamment grand** pour autoriser la construction des typologies recherchées, tout en restant compatible avec les moyens humains et financiers que l'on peut réunir pour ce type d'étude. L'objectif de ce type de recherche amène à considérer comme une exploitation toute unité d'utilisation de terres agricoles

faisant l'objet d'une gestion autonome, indépendamment de son statut juridique et administratif, et à s'intéresser à toutes les exploitations qui détiennent des terres dans le territoire retenu pour l'étude, quelle que soit la localisation de leur siège (MOTTET *et al.*, 2006). A titre d'exemple, dans nos applications de l'approche proposée, nous avons délimité le territoire à étudier à l'aide des données communales du dernier Recensement Agricole disponible et identifié des exploitations à enquêter en établissant avec chaque municipalité concernée la liste des agriculteurs exploitant des terres dans la commune. Ces listes ont le cas échéant été complétées en cours d'enquête, au fil des entretiens avec les agriculteurs. Dans les deux situations régionales étudiées, les travaux ont porté respectivement sur 5 communes comptant 45 exploitations (GIBON *et al.*, 2015) et 4 communes comptant 65 exploitations (CHOISIS *et al.*, 2010).

■ Bases de délimitation des parcelles et de caractérisation de leur gestion

La délimitation des parcelles agricoles vues comme les unités spatiales élémentaires de la gestion agricole des terres (PU) n'est pas chose aisée dans la pratique. La définition qui lui prête une homogénéité de caractéristiques constitue en fait une simplification forte, les PU étant dans la réalité des entités relativement labiles et complexes (MARTIN *et al.*, 2006) : elles peuvent être redécoupées entre campagnes agricoles, regrouper ou recouper des agroécosystèmes aux histoires culturelles différentes, et présenter une hétérogénéité interne de conditions de milieu. Par ailleurs, lorsqu'on veut étudier l'histoire de leur gestion sur une période longue, il est nécessaire de tenir compte de leurs liens aux parcelles cadastrales (PC), unités de base de la propriété et des modes de faire-valoir des terres qui constituent la maille élémentaire des processus de recomposition des territoires d'exploitation. Elles ne coïncident généralement pas aujourd'hui, loin s'en faut, avec les PU du fait de la restructuration continue de l'agriculture. Tout projet de modélisation appelant une simplification adaptée à ses objectifs, nous proposons de **considérer chaque PU comme une agrégation de parcelles cadastrales contiguës**, afin de faciliter la gestion des informations spatiales et temporelles sur les unités et pratiques de gestion des terres. Les cas où les limites ou la gestion de la PU ne correspondent pas à cette vue, la PU est alors traitée en ajustant ses limites à la collection de PC sous-jacentes la plus proche ; on lui attribue alors les caractéristiques majoritaires en surface et un indicateur signalant son hétérogénéité.

■ Méthode de constitution et gestion du jeu de données nécessaire à une application régionale

Les informations spatialement explicites nécessaires à l'analyse des pratiques de gestion des agriculteurs sont nombreuses et variées quand on veut étudier les processus et logiques qui sous-tendent l'organisation et le

changement d'un système régional de gestion agricole des terres et préparer un diagnostic de ses relations avec les changements écologiques de la mosaïque paysagère. Depuis leur émergence vers la fin des années 1980, les systèmes d'information géographique (SIG) ont grandement facilité le développement des méthodes et la conduite des recherches en écologie des paysages. De son côté, l'évolution des bases d'attribution des soutiens aux agriculteurs dans la politique agricole commune (PAC) est à l'origine d'une mise à disposition publique de cartes informatiques des territoires des exploitations bénéficiaires, qui facilite l'étude spatialement explicite des pratiques de gestion agricole des terres (depuis 2006 en France). Nous avons mis à profit ces facilités pour élaborer un protocole de collecte et gestion des données qui imbrique la constitution d'un SIG et la réalisation d'une enquête auprès des agriculteurs utilisant le territoire géographique de référence retenu pour une étude (MOTTET *et al.*, 2006). Le protocole d'enquête comporte 2 entretiens successifs à 2 semaines d'intervalle avec chaque agriculteur, de façon à obtenir son autorisation d'utiliser les informations sur son parcellaire issues du registre PAC graphique (à défaut, la liste de ses parcelles déclarées à la MSA) pour construire dans le SIG de premières cartes de l'exploitation sur divers fonds de carte (photo aérienne, parcellaire cadastral...). Celles-ci servent de support à la cartographie et la caractérisation avec l'agriculteur de ses parcelles et de son territoire d'exploitation lors du second entretien.

■ Le rôle pivot du projet de système d'information géographique

Le travail de modélisation spatialement explicite de l'évolution d'un système régional de gestion des terres exigeant de nombreuses analyses exploratoires, il est important de disposer de facilités de gestion d'informations spatiales et temporelles. De nombreux types de données géographiques sont à mobiliser auprès de fournisseurs de données externes ou à élaborer (photo-interprétation, relevés de terrain, résultats d'enquête...) et structurer pour disposer des éléments d'analyse *a priori* nécessaires pour explorer et comprendre les interactions entre l'organisation et l'évolution de la mosaïque des agroécosystèmes et celles de la gestion agricole des terres (figure 3).

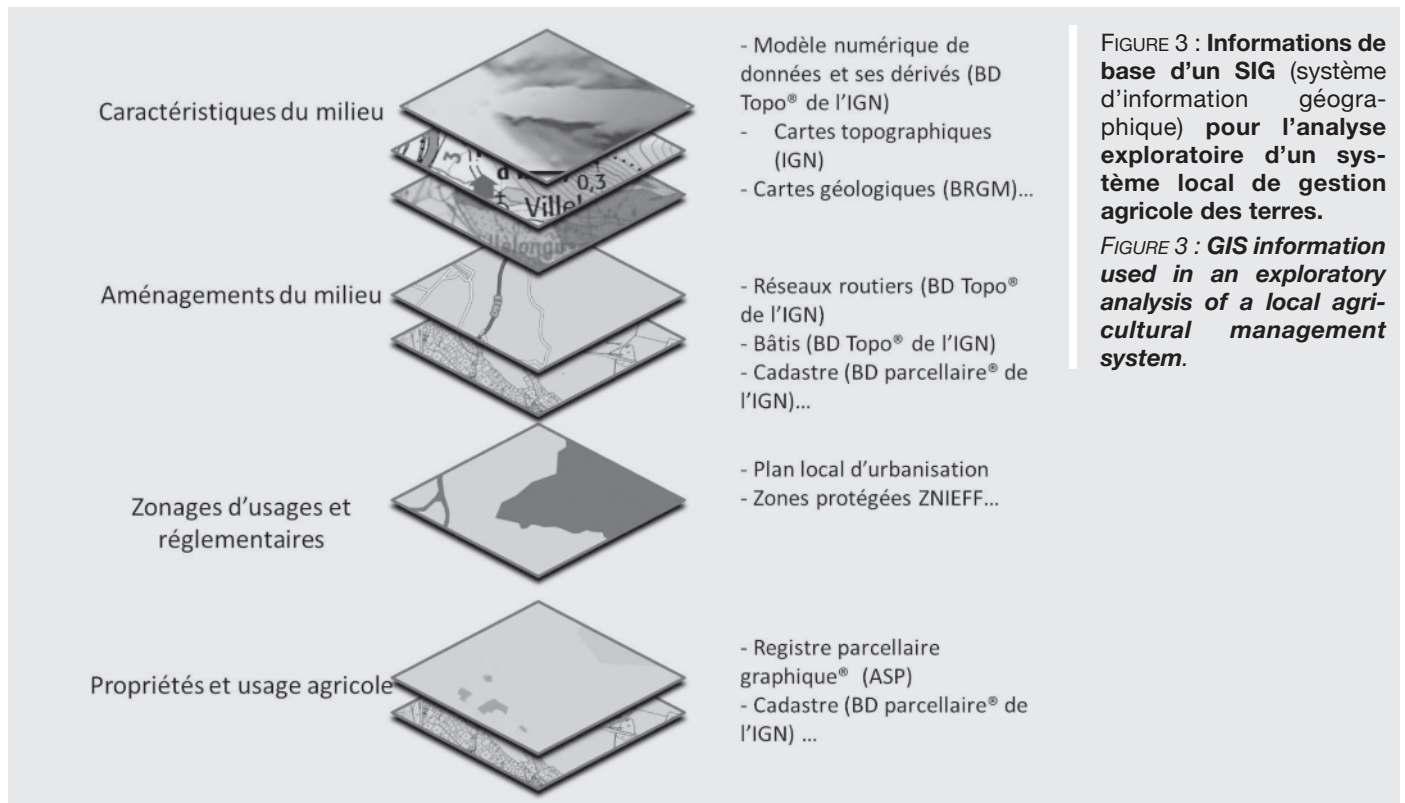
La construction d'un ensemble de bases de données relationnelles associées à un SIG est fondamentale pour compiler et gérer l'information sous une forme facilitant la réalisation d'analyses exploratoires et de croisements thématiques. Le projet SIG tient un rôle très important dans la démarche. Il doit être structuré de façon à pouvoir mobiliser au mieux ses fonctionnalités de croisement spatial pour effectuer des synthèses d'informations issues de sources et de domaines divers, faire émerger les liens entre les différentes composantes de la gestion agricole des terres dans une perspective synchronique et diachronique, et autoriser l'étude de ses interactions avec les processus écologiques (SOURDRIL et LADET, 2008 ; BERNIER *et al.*, 2014).

■ Méthode d'enquête auprès des agriculteurs

La méthode d'enquête, mise au point pour collecter auprès des agriculteurs l'ensemble des informations spatiales, sociotechniques et socio-écologiques nécessaires à l'étude, requiert l'intervention de deux enquêteurs travaillant en binôme et l'appui d'un ingénieur spécialiste des SIG (MOTTET *et al.*, 2006). Le premier entretien porte sur le SFEA et son histoire, et sur le système technique de production et son évolution. L'information est recueillie au moyen d'un questionnaire semi-directif dont la structure et le contenu s'inspirent de ceux utilisés dans des diagnostics régionaux (par exemple CAPILLON et MANICHON, 2001). Le second est effectué deux semaines plus tard selon une méthode inspirée de MORLON et BENOÎT (1990) et GIBON *et al.* (1999b). Il débute par le tracé avec l'agriculteur sur les supports préalablement construits sous SIG des composantes du territoire de son exploitation (ensemble des terres et bâtiments détenus, y compris ceux ne faisant plus l'objet d'une utilisation agricole régulière). En parallèle au tracé des limites des PU, des informations systématiques sont collectées sur leurs caractéristiques (sol, distance aux bâtiments, accessibilité, nature des agroécosystèmes, présence de bâtiments, modes de faire-valoir des PC qui les composent...) et leur gestion. Les changements de composition et gestion du territoire intervenus depuis 1950 sont alors reconstitués à partir de cette première carte.

Conclusions et perspectives

Le terme paysage est très polysémique, les questions que soulève son étude sont multiples, et les façons de le concevoir et l'aborder dans la recherche et le développement très variées. Dans le volume alloué à cet article, nous avons choisi de proposer un exposé détaillé du projet que notre approche vise à poursuivre, des défis scientifiques qu'elle soulève et nos propositions pour contribuer à les résoudre sans la comparer à d'autres approches récemment développées en agronomie sur les relations agriculture - paysage (BENOÎT *et al.*, 2012) ou sur la contribution de l'agriculture et de l'agronomie au développement territorial (BOIFFIN *et al.*, 2014). Notre approche relève d'une conception du paysage qui s'est imposée dans un courant international récent de la recherche en écologie du paysage (WU, 2013). Celui-ci est étroitement finalisé par l'appui aux acteurs de la gestion des écosystèmes et aux politiques publiques de développement dans une perspective de contribution au développement durable. Ce projet a conduit les chercheurs qui s'y consacrent à développer des travaux interdisciplinaires avec diverses branches des sciences de la nature et de la société et à faire évoluer l'écologie du paysage vers une science « de la durabilité des paysages » sous l'angle écologique, économique et social. Cela rapproche leurs travaux de ceux d'autres courants interdisciplinaires qui, avec des points de départ et sous des dénominations différentes, cherchent également à produire des connaissances intégrées sur la durabilité des



relations entre les systèmes naturels et des systèmes sociaux en mobilisant le concept de services écosystémiques. Ce concept, développé et vulgarisé par le MEA, permet de prendre conscience de la multiplicité des fonctions qu'assurent les écosystèmes et des biens et services qu'ils procurent ainsi que de la nécessité de les considérer dans leur ensemble et non isolément. Nous avons montré ici comment l'utilisation d'une démarche de modélisation systémique aide à en effectuer une approche intégrée sans pour autant se perdre dans la multiplicité des objets et la complexité des questions à considérer. Nous proposerons dans un article à suivre une application de la démarche présentée à l'étude de la dynamique de changement de gestion agricole des terres et des paysages écologiques, qui offre une illustration de l'opérationnalité et de l'efficacité de cette approche.

Accepté pour publication,
le 19 juin 2015

Remerciements : Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet de recherche MOUVE soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (projet ANR-2010-STRA-005-01).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANTROP M. (2005) : "Why landscapes of the past are important for the future", *Landscape and Urban Planning*, 70 (1-2), 21-34.
- AUBRY C., MICHEL-DOUNIAS I. (2006) : "Systèmes de culture et décisions techniques dans l'exploitation agricole", Doré T., M. Le Bail, P. Martin, B. Ney, J.R. Estrade (éds.), *L'agronomie aujourd'hui*, Paris, Quae, 57-73.
- BALENT G., BARRUÉ-PASTOR M. (1986) : "Pratiques pastorales et stratégies foncières dans le processus de déprise de l'élevage montagnard en vallée d'Oô (Pyrénées Centrales)", *Revue Géographique des Pyrénées du Sud Ouest*, 57, 403-447.
- BALENT G., ALARD D., BLANFORT V., GIBON A. (1998) : "Activités de pâturage, Paysages et Biodiversité", *Annales de Zootechnie*, 47, 419-429.
- BALENT G., LAVOREL S., LOUCOUGARAY G., BERTONI G., BOISDON I., CAPITAINE M., COLACE M.P., DOBREMEZ L., GIBON A., GOS P., MESMIN X. (2015) : "Quelles perspectives d'intensification écologique des services fourragers rendus pour des prairies de moyennes montagnes humides françaises ? Une analyse comparative", *Fourrages*, 221, 3-14.
- BENOIT M., RIZZO D., MARRACCIN E.I., MOONEN A.C., GALLI M., LARDON S., RAPEY H., THENAIL C., BONARI E. (2012) : "Landscape agronomy: a new field for addressing agricultural landscape dynamics", *Landscape Ecol.*, 27, 1385-1394, 2012.
- BERNIER S., DUTOIT S., LADET S., BAUDET D. et coll. (2014) : "Les concepts de base des Systèmes d'Information Géographique (SIG) : les données et les fonctions générales", *Cahier des Techniques de l'INRA*, 19-27. https://www6.inra.fr/cahier_des_techniques/Media/racine-d-arborescence/cahiers-thematiques/GPS-et-SIG2/Concept-de-base-des-SIG-Bernier-et-al
- BOIFFIN J., BENOÎT M., LE BAIL M., PAPY F., STENGEL P. (2014) : "Agronomie, espace, territoire: travailler « pour et sur » le développement territorial, un enjeu pour l'agronomie", *Cahiers Agricultures*, 23, 2014.
- BOMMARCO R., KLEIJN D., POTTS G.R. (2013) : "Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security", *Trends in Ecology and Evolution*, 28, 230-238.
- BONNEMAIRE J., BROSSIER J., BRUN A., ROUX M., TEISSIER J.H., DEFFONTAINES J.P., HOUDARD Y., OSTY P.L., PETIT M. (1977) : *Pays, paysans, paysages dans les Vosges du Sud*, Paris, INRA Ed.
- BONNEVILLE J.R., JUSSIAU R., MARSHALL E. (1989) : *Approche globale de l'exploitation agricole. Comprendre le fonctionnement de l'exploitation agricole: une méthode pour la formation et le développement*, INRAP, 329 p.
- CAPILLON A. (1993) : *Typologie des exploitations agricoles. Contribution à l'étude régionale des problèmes techniques*, Thèse de Doctorat de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon.

- CAPILLON A., MANICHON H. (1991) : *Guide d'étude de l'exploitation agricole à l'usage des agronomes*, (2^e éd.) Paris, Relance Agronomique, INA P-G, APCA.
- CHARROIN T., VEYSSET P., DEVIENNE S., FROMONT J.L., PALAZON R., FERRAND M. (2012) : "Productivité du travail et économie en élevages d'herbivores : définition des concepts, analyse et enjeux", *INRA Prod. Anim.*, 25, 193-210.
- CHOISIS J.P., BALENT G., DECONCHAT M., SOURDRIL A., GIBON A. (2010) : "Comprendre la dynamique régionale des exploitations de polyculture élevage pour accompagner le développement rural dans les Coteaux de Gascogne", *Cahiers Agriculture*, 19, 97-103.
- COCHET H. (2007) : "Système Agraire", P. Morlon (coord.), *Les mots de l'agronomie. Histoire et critique*, http://mots-agronomie.inra.fr/mots-agronomie.fr/index.php/Syst%C3%A8me_agraire
- COCHET H., DEVIENNE S. (2006) : "Fonctionnement et performances économiques des systèmes de production agricole: une démarche à l'échelle régionale", *Cahiers Agricultures*, 15, 578-583.
- CROSSMAN N.D., BRYAN B.A., DE GROOT R.S., LIN Y.P., MINANG P.A. (2013) : "Land science contributions to ecosystem services", *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5, 509-514.
- DARNHOFFER I., BELLON S., DEDIEU B., MILESTAD R. (2010) : "Adaptiveness to enhance the sustainability of farming systems. A review", *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 545-555.
- DEFFONTAINES J.P., THENAIL C., BAUDRY J. (1995) : "Agricultural systems and land use patterns: how can we build a relationship", *Landscape and Urban Planning*, 31, 3-10.
- DOBREMEZ L., PERRET E. (1998) : "Les cahiers des charges des opérations locales agri-environnementales en montagne : quelles implications pour les exploitations agricoles ?", *Ann. Zootechnie*, 47, 497-503.
- GAUJOUR E., MIGNOLET C., PLANTUREUX, S., AMIAUD, B. (2011) : "Expliquer la végétation des prairies et des champs cultivés: l'importance de la dynamique des pratiques agricoles et de la mosaïque paysagère", *Fourrages*, 208, 329-342.
- GIBON A., BALENT G. (2005) : "Landscapes on the French side of western and central Pyrenees", T. Pinto-Correia, R.G.H. Bunce, D.C. Howard (eds.), *Landscape Ecology and management of Atlantic mountains*, Proc. of the Joint APEP and IALE (UK) conf, IALE/IALE UK, 65-73.
- GIBON A., SIBBALD A.R., FLAMANT J.C., LHOSTE P., REVILLA R., RUBINO R., SORENSEN J.T. (1999a) : "Livestock farming systems research in Europe and its potential contribution for managing towards sustainability in livestock farming", *Livestock Production Sci.*, 61, 121-137.
- GIBON A., DI PIETRO F., THEAU J.P. (1999b) : "La diversité des structures spatiales des exploitations pyrénéennes", *Opt. Medit. Serie B*, 27, 259-266 ; <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=99600313>
- GIBON A., BALENT G., ALARD D., LADET S., MOTTET A., JULIEN M.P. (2004) : "L'usage de l'espace par les exploitations d'élevage de montagne et la gestion de la biodiversité", *Fourrages*, 178, 245-263.
- GIBON A., SHEEREN D., MONTEIL C., LADET S., BALENT G. (2010) : "Modelling and simulating change in reforestation mountain landscapes using a social-ecological framework", *Landscape Ecology*, 25, 267-285
- GIRARD N., BELLON S., HUBERT, B., LARDON S., MOULIN C.H., OSTY P.L. (2001) : "Categorising combinations of farmers' land use practices: An approach based on examples of sheep farms in the south of France", *Agronomie*, 21, 435-459.
- GUNDERSON L.H., HOLLING C.S. (2002) : *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*, Washington DC, Island Press.
- HAINES-YOUNG R. (2009) : "Land use and biodiversity relationships", *Land Use Policy*, 26, S178-S186.
- KATES R.W. (2011) : "What kind of a science is sustainability science?", *Proc. Nat. Acad. Sci. United States of America*, 108, 19449-19450.
- LARDON S., CAPITAINE M. (2008) : "Chorèmes et graphes. Production et transformation de représentations spatiales en agronomie", *Revue d'anthropologie des connaissances*, 2, 195-217.
- LEGAY J.M. (1997) : *L'expérience et le modèle*, Paris, INRA Editions.
- LE ROUX X., BARBAULT R., BAUDRY J., BUREL F., DOUSSAN I., GARNIER E., HERZOG S., LAVOREL S., LIFRAN R., ROGER-ESTRADE J., SARTHOU J.P., TROMMETTER M. (2008) : *Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies*, Expertise scientifique collective, synthèse du rapport. Paris, INRA.
- LIU J.G., DIETZ T., CARPENTER S.R., FOLKE C., ALBERTI M., REDMAN C.L., SCHNEIDER S.H., OSTROM E., PELL A.N., LUBCHENCO J., TAYLOR W.W., OUYANG Z Y., DEADMAN P., KRATZ T., PROVENCHER W. (2007) : "Coupled human and natural systems", *Ambio*, 36, 639-649.
- MADRY W., MENA Y., ROSZKOWSKA-MADRA B., GOZDOWSKI D., HRYNIEWSKI R., CASTEL J. (2013) : "An overview of farming system typology methodologies and its use in the study of pasture-based farming system: a review", *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11, 316-326.
- MARTIN P., JOANNON A., SOUCHÈRE V., THENAIL C. (2006) : "Systèmes de culture et territoires : Le cas des questions environnementales", T. Dore, M. Le Bail, P. Martin, B. Ney, J.R. Estrade (éds.), *L'agronomie aujourd'hui*, Paris, éd. Quae, 253-283.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment) (2005) : *Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire. Les écosystèmes et le bien-être humain. Synthèse*, Washington DC., Island Press ; <http://www.millenniumassessment.org/fr/Synthesis.html> (version française)
- MOREAU J.C., DURU M., GUÉRIN G., DELABY L. (2009) : "Démarches et outils de conseil autour du système fourrager: évolutions et concepts", *Fourrages*, 200, 565-586.
- MORLON P., BENOÎT M. (1990) : "Etude méthodologique d'un parcellaire d'exploitation en tant que système", *Agronomie*, 6, 499-508.
- MOTTET A., LADET S., COQUÉ N., GIBON A. (2006) : "Agricultural land-use change and mountain landscape dynamics since 1950: a case study in the Pyrenees", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114, 296-310.
- PELOSI C., GOULARD M., BALENT G. (2010) : "The spatial scale mismatch between ecological processes and agricultural management: Do difficulties come from underlying theoretical frameworks?", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139, 455-462.
- SOUCHÈRE V., MILLAIR L., ECHEVERRIA J., BOUSQUET F., LE PAGE C., ETIENNE M. (2010) : "Co-constructing with stakeholders a role-playing game to initiate collective management of erosive runoff risks at the watershed scale", *Environmental Modelling and Software*, 25 (11), 1359-1370.
- SOURDRIL A., LADET S. (2008) : "Le paysage d'une « société à maison » bas-commingeoise vu au travers des archives cadastrales et photographiques : quand ethnologie et géomatique s'en mêlent", *Ateliers du LESC*, 32, <http://ateliers.revues.org/3332>
- THENAIL C., BAUDRY J. (2004) : "Variation of farm spatial land use pattern according to the structure of the hedgerow network (bocage) landscape: a case study in northeast Brittany", *Agric. Ecosyst. Environ.*, 101, 53-72.
- TURNER B.L., LAMBIN E.F., REENBERG A. (2007) : "Land Change Science Special Feature: The emergence of land change science for global environmental change and sustainability", *Proc. National Acad. Sci. United States of America*, 104 (52), 20666-20671.
- VERTÈS F., DEVIENNE S., RUIZ L., MOREAU P., DURAND P., DELABY L., CORGNE S., DUSSEUX P., GASCUEL C. (2014) : "De l'évaluation environnementale à la dynamique des systèmes agraires sur un bassin versant « Algues vertes »", *Innovations Agronomiques*, 39, 11-31, 2015.
- WU J.G. (2013) : "Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes", *Landscape Ecol.*, 28, 999-1023.
- WU J.G., DAVID J.L. (2002) : "A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems: theory and applications", *Ecological Modelling*, 153, 7-26.



Association Française pour la Production Fourragère

La revue *Fourrages*

est éditée par l'Association Française pour la Production Fourragère

www.afpf-asso.org



AFPF – Centre Inra – Bât 9 – RD 10 – 78026 Versailles Cedex – France

Tél. : +33.01.30.21.99.59 – Fax : +33.01.30.83.34.49 – Mail : afpf.versailles@gmail.com

Association Française pour la Production Fourragère