



HAL
open science

Une approche multi-échelles des arbitrages entre production fourragère et biodiversité dans un agroécosystème prairial

Rodolphe Sabatier, Francois F. Leger, Félix Teillard d'Eyry Teillard, Muriel M. Tichit

► **To cite this version:**

Rodolphe Sabatier, Francois F. Leger, Félix Teillard d'Eyry Teillard, Muriel M. Tichit. Une approche multi-échelles des arbitrages entre production fourragère et biodiversité dans un agroécosystème prairial. Fourrages, 2011, 208 (208), pp.315 - 327. <hal-01001236>

HAL Id: hal-01001236

<https://hal.science/hal-01001236v1>

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.



Copyright - All rights reserved

Une approche multi-échelles des arbitrages entre production fourragère et biodiversité dans un agroécosystème prairial

R. Sabatier^{1,2}, F. Léger^{1,2}, F. Teillard^{1,2}, M. Tichit^{1,2}

Les mesures agri-environnementales n'ont pas permis d'enrayer le déclin de la biodiversité dans les paysages agricoles. Développer des pratiques favorables à la biodiversité à l'échelle de la parcelle semble insuffisant et de nombreuses études soulignent l'importance d'échelles supérieures sans pour autant la quantifier. Cette étude fournit une telle quantification dans le cadre d'un agroécosystème prairial exploité par des élevages bovins viande.

RÉSUMÉ

Des modèles formalisent à 3 échelles spatiales emboîtées (parcelle, exploitation, paysage) les interactions entre pratiques de pâturage ou de fauche et dynamiques écologiques de deux espèces d'oiseaux prairiaux (vanneau huppé et chevalier gambette). A l'échelle de la parcelle : périodes et intensités de pâturage déterminent l'arbitrage entre production et conservation ; les meilleures performances écologiques sont atteintes aux niveaux intermédiaires de performances productives. A l'échelle de l'exploitation agricole, la proportion des différents usages agricoles est un levier majeur de cet arbitrage mais la conservation des oiseaux a toujours un coût en termes de production. A l'échelle du paysage, l'agencement spatial des usages module également cet arbitrage.

SUMMARY

A multi-scale approach for determining a balance between forage production and biodiversity in a grassland agro-ecosystem

Agri-environmental measures have not been able to halt the decline of biodiversity in agricultural systems. Agricultural practices aimed at preserving diversity on a field scale appear to be deficient. This study models the interactions between grazing/mowing practices and the ecological dynamics of two grassland bird species (Northern Lapwing and Common Redshank) at three nested spatial scales (field, farm and landscape). On a field scale, grazing periods and intensity determine the balance between production and conservation. Optimal ecological performance is achieved at intermediate production levels. On a farm scale, the extent of different agricultural practices determines this balance. Nevertheless, bird conservation always carries a cost in terms of production. On a landscape scale, the spatial layout of land use is also taken into account in determining this balance.

Introduction

Des mesures agri-environnementales visant à corriger les effets négatifs de l'intensification agricole ont été mises en place en Europe depuis le début des années 90. Plusieurs études ont mis en évidence leur faible efficacité pour enrayer le déclin de la biodiversité (KLEIJN *et al.*, 2001 et 2006 ; LE ROUX *et al.*, 2008). Une première explication pointe le faible taux de contractualisation et la trop grande dispersion spatiale des parcelles concernées par

ces mesures. Une seconde souligne que ces mesures appliquées à l'échelle de la parcelle ignorent les mécanismes agissant à l'échelle du paysage. Des études récentes mettent cependant en avant l'importance de l'hétérogénéité des paysages pour la biodiversité (BENTON *et al.*, 2003) en tant que structure et composition des paysages (FAHRIG *et al.*, 2011). D'autres soulignent l'importance des interactions entre effets locaux de l'intensité agricole, à l'échelle parcellaire, et effets plus globaux liés à la complexité des paysages agricoles (TSCHARNKTE *et al.*, 2005).

AUTEURS

1 : INRA, UMR 1048 SADAPT, F-75231 Paris ; rodolphe.sabatier@forst.uni-goettingen.de ; muriel.tichit@agroparistech.fr
2 : AgroParisTech, UMR 1048 SADAPT, F-75231 Paris

MOTS CLÉS : Biodiversité, bovin allaitant, chargement animal, chevalier gambette, écologie, élevage extensif, gestion des prairies, gestion du pâturage, gestion du territoire, hétérogénéité spatiale, marais, mesures agri-environnementales, mode d'exploitation, modélisation, oiseau, paysage, prairie permanente, *Tringa totanus*, *Vanellus vanellus*, vanneau huppé.

KEY-WORDS : Biodiversity, bird, ecology, extensive breeding, farm environmental measures, fen, grazing management, land management, landscape, modelling, pasture management, permanent pasture, spatial heterogeneity, stocking rate, suckling cattle, type of management, *Tringa totanus*, *Vanellus vanellus*.

RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE : Sabatier R., Léger F., Teillard F., Tichit M. (2011) : "Une approche multi-échelles des arbitrages entre production fourragère et biodiversité dans un agroécosystème prairial", *Fourrages*, 208, 315-327.

Les prairies permanentes européennes accueillent un nombre considérable d'espèces végétales et animales. Elles sont donc des milieux particulièrement intéressants pour étudier les interactions entre pratiques agricoles et biodiversité. Les usages agricoles (pratiques de pâturage, fauche) qui ont façonné ces milieux sont des déterminants majeurs de l'état du couvert végétal ; celui-ci joue un rôle essentiel pour différents groupes d'organismes (insectes, micromammifères, oiseaux...). A l'échelle du paysage, la diversité de ces usages peut être envisagée comme un levier pour concilier production agricole et biodiversité, les espèces inféodées à ces milieux agricoles ayant des exigences écologiques différentes (revues de DURANT *et al.* (2008a) pour les oiseaux ou VERDU *et al.* (2000) pour les insectes). La conciliation demande alors de considérer les différents usages d'un paysage agricole et leurs interactions comme des facteurs de variation de la qualité des habitats et du devenir des espèces qui en dépendent, autant que comme des déterminants de la production agricole (VANDERMEER et PERFECTO, 2005).

Sur le plan de la production agricole, la diversité des usages procure une variété de ressources mobilisables qui peut fournir des moyens d'adaptation face à la variabilité environnementale (principalement climatique). **Les élevages herbagers offrent d'excellentes illustrations de l'intérêt de la diversité des ressources.** A l'échelle du système fourrager, la diversité des types de prairies est un atout important pour sécuriser les ressources alimentaires du troupeau (MARTIN, 2009). A l'échelle parcellaire, la diversité végétale est une source de flexibilité pour l'utilisation des prairies (MARTIN, 2009 ; MARTIN *et al.*, 2009). Elle stimule la motivation alimentaire des herbivores au pâturage (AGREIL, 2003) et améliore les qualités organoleptiques des produits animaux (revue dans FARRUGIA *et al.*, 2008).

Sur le plan écologique, les paysages herbagers offrent aux différentes espèces une mosaïque d'habitats de qualités inégales façonnée par la diversité des usages. Les interactions entre habitats jouent un rôle important pour le maintien des espèces, en particulier pour des espèces mobiles telles que les oiseaux. Plusieurs types d'interactions entre habitats ont été étudiés de manière théorique et ont donné lieu à l'hypothèse de compensation entre habitats (ANDREN *et al.*, 1997) et à l'hypothèse de complémentarité entre habitats (DUNNING *et al.*, 1992). Ces deux hypothèses ont été formalisées par BROTONS *et al.* (2005) en contexte agricole. La première correspond à une vision dichotomique de la qualité des habitats en milieu agricole qui oppose habitat favorable (*i.e.* généralement un patch d'éléments semi-naturels) et habitat défavorable (généralement un patch cultivé). La seconde illustre une autre propriété de la diversité des habitats. Les usages agricoles génèrent souvent des habitats sub-optimaux ne fournissant qu'une partie des ressources nécessaires à l'espèce considérée. Dans ce contexte, une diversité d'usages est un moyen pour fournir la totalité des ressources nécessaires à cette espèce et plus globalement un moyen de fournir une diversité d'habitats dans l'espace et dans le temps pour préserver plusieurs espèces (par ex. pour les oiseaux : revue de BENTON *et al.*, 2003).

La diversité des usages, en permettant de compenser les variations environnementales (principalement climatiques) **et en offrant une gamme d'habitats complémentaires, est donc un atout important pour la durabilité des agroécosystèmes prairiaux**, tant sur le plan écologique que sur le plan de la production. Toutefois, à ce jour, **peu de travaux ont quantifié les performances productives et écologiques d'agroécosystèmes prairiaux à différentes échelles** (voir cependant à l'échelle de la ferme : JOUVEN et BAUMONT, 2008). Comprendre les relations entre ces deux ordres de performance demande : i) de formaliser les dynamiques agroécologiques à différentes échelles et ii) de disposer d'un cadre d'évaluation multicritères pour analyser sans hiérarchie *a priori* les arbitrages entre performance productive et écologique de l'agroécosystème.

Dans cette synthèse, nous proposons un **cadre de modélisation multicritères** (écologique et productif) **et multi-échelles** (parcelle - exploitation - paysage) **des arbitrages entre performance productive et écologique** dans un agroécosystème prairial. L'objectif est de déterminer les leviers de la conciliation entre performance productive et écologique. Nous avons choisi d'aborder la performance écologique par les oiseaux qui, du fait de leur mobilité, constituent des modèles particulièrement intéressants pour étudier les interactions agriculture x biodiversité dans un ensemble d'échelles emboîtées. A partir de trois modèles développés aux échelles de la parcelle, de l'exploitation et du paysage, nous traitons deux questions :

- Quelle est la forme de la relation entre performance productive et écologique à différentes échelles (parcelle, exploitation, paysage) ?
- Quels sont les leviers pour améliorer la relation d'arbitrage entre ces deux ordres de performances ?

1. Description du cas d'étude et de la démarche

■ Cas d'étude : un agroécosystème prairial humide de la façade atlantique

Le cas d'étude est localisé dans le **marais Poitevin**, où les surfaces de prairies ont fortement régressé au cours des dernières décennies (DUNCAN *et al.*, 1999). Site clé pour la nidification de nombreuses espèces d'oiseaux prairiaux, ce marais a été désigné comme site pilote pour la mise en œuvre des mesures agri-environnementales dès le début des années 90. La zone étudiée, située à l'ouest du Lay (46°22' N, 1°25' O), correspond au dernier grand fragment prairial de la façade atlantique. Couvrant une superficie d'environ 5 000 ha, elle est constituée quasi exclusivement de parcelles de prairies permanentes, utilisées par une centaine d'**exploitations d'élevage bovin allaitant**. Les territoires d'exploitation sont généralement composés de prairies permanentes localisées dans le marais et de cultures situées hors marais, en "terres hautes". Les élevages allaitants de la zone, naisseurs ou naisseurs-engraisseurs, couvrent un large gradient d'intensité d'utilisation des prairies allant

de 0,8 à 2,0 UGB/ha SFP (TICHT *et al.*, 2006 ; SABATIER *et al.*, 2008). Les naisseurs-engraisseurs sont relativement intensifs. Ils sont modérément dépendants de la **prairie permanente de marais** pour l'alimentation des troupeaux, celle-ci étant aussi assurée par les prairies temporaires et l'ensilage de maïs cultivés en "terres hautes". Les naisseurs sont plus extensifs, l'alimentation du troupeau reposant quasi exclusivement sur des prairies permanentes de marais pâturées ou fauchées.

Sur le plan écologique, cette zone joue un rôle important au niveau national pour la conservation de **deux espèces d'oiseaux prairiaux : le chevalier gambette (*Tringa totanus*) et le vanneau huppé (*Vanellus vanellus*)**. Ces deux espèces ont subi un déclin important à l'échelle de l'Europe depuis les années 80 (EBCC, 2010). En France, leurs effectifs sont relativement stables depuis 2001 (JIGUET, 2010) et le marais Poitevin demeure un site clef pour leur reproduction. Une synthèse sur la biologie de ces espèces souligne plusieurs caractéristiques qui en font de bons modèles d'étude des relations entre pratiques agricoles et biodiversité (DURANT *et al.*, 2008a). Ces espèces sont **de bons indicateurs de la biodiversité globale**, leur présence dépendant de la richesse des ressources alimentaires (insectes...), elles-mêmes fonction de la diversité végétale. Le vanneau huppé et le chevalier gambette accomplissent leur cycle de vie dans les prairies. **Leur démographie est dès lors très liée aux pratiques agricoles**. Pour se reproduire, au printemps, ces oiseaux sélectionnent des parcelles avec des **hauteurs d'herbe spécifiques** : rase pour le vanneau huppé et modérée pour le chevalier gambette (MILSOM *et al.*, 2000 ; DURANT *et al.*, 2008b). La hauteur d'herbe dépend des différentes pratiques de pâturage ou de fauche, qui ne vont donc pas favoriser également les deux espèces (TICHT *et al.*, 2005a et b). Celles-ci, comme la plupart des oiseaux prairiaux, nichent au sol. La **destruction des nids par le piétinement des troupeaux** a un impact direct, parfois fort, sur la fécondité des oiseaux (BEINTEMA et MUSKEN, 1987). Le pâturage est cependant nécessaire au maintien d'habitats favorables aux oiseaux et, en modifiant la hauteur et la structure du couvert végétal, affecte la survie des juvéniles. Les relations entre pâturage et paramètres démographiques sont ainsi marquées par un paradoxe entre un effet direct du pâturage défavorable aux oiseaux et un effet indirect qui leur est potentiellement favorable (SABATIER *et al.*, 2010a). L'impact du pâturage ne se limite pas à l'échelle parcellaire puisque les juvéniles, nidifuges, peuvent changer de parcelle au cours du mois qui suit l'éclosion pour rechercher leur nourriture. Leur survie ne dépend donc pas uniquement des pratiques dans leur parcelle de naissance mais également de celles des parcelles avoisinantes (GALBRAITH, 1988 ; REDFERN, 1982). **Ces oiseaux sont donc particulièrement intéressants pour étudier la conciliation entre performances productive et écologique à différentes échelles** car leur dynamique de population dépend non seulement des périodes et de l'intensité des usages au niveau de la parcelle mais également de la proportion des différents usages, et donc des habitats qui en découlent, ainsi que de leur agencement au sein du paysage de marais.

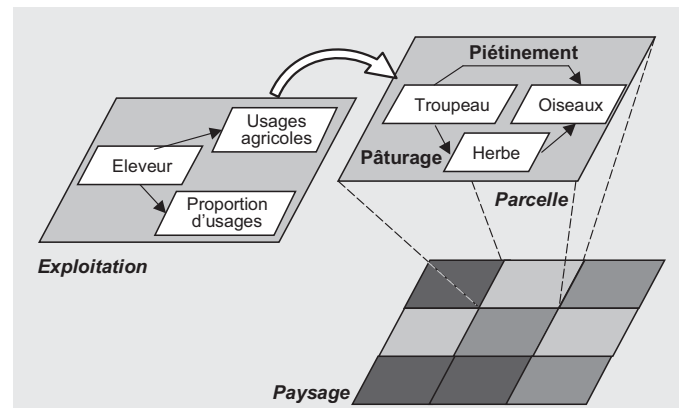


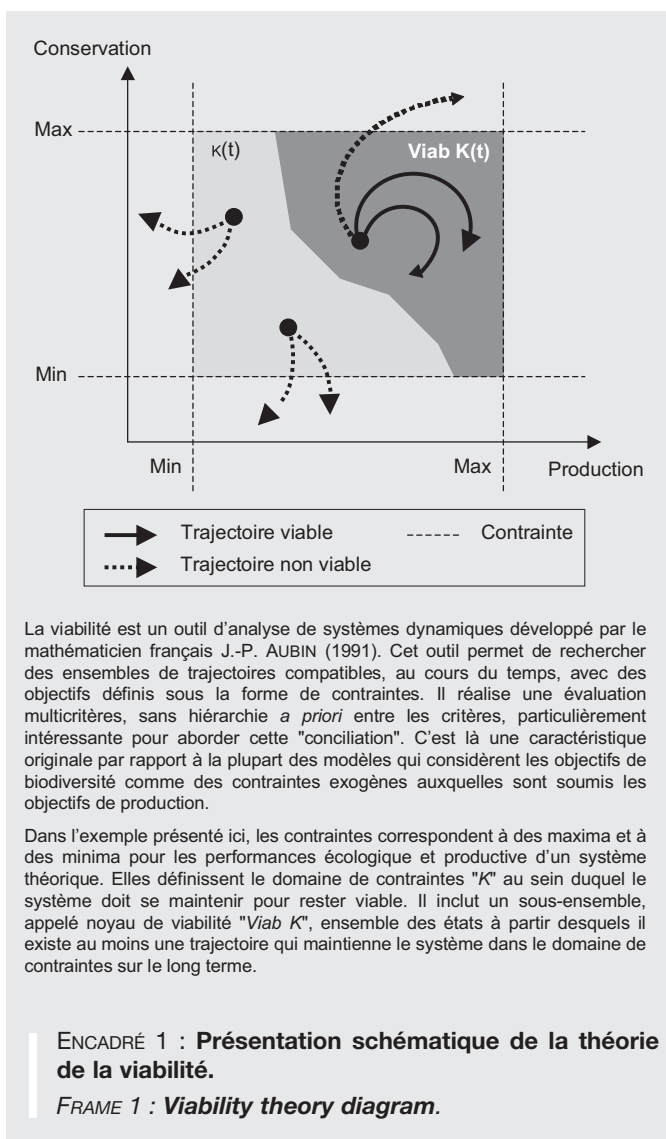
FIGURE 1 : Présentation du modèle conceptuel d'un agroécosystème prairial formalisant trois échelles emboîtées : la parcelle, l'exploitation, le paysage de marais (chaque niveau de gris symbolise un usage différent).

FIGURE 1 : Conceptual model of a grassland agro-ecosystem formalizing three nested scales: field, farm and swampland (the different shades of grey materialize different land use).

■ Une démarche de modélisation multiscale

Nous avons **modélisé l'agroécosystème prairial à trois niveaux d'organisation : la parcelle, l'exploitation, le paysage de marais** (figure 1). Les trois modèles développés ont un cadre conceptuel commun dans lequel **les pratiques agricoles sont des facteurs de variation des dynamiques écologiques**. Chaque modèle s'appuie sur une représentation dans laquelle l'agroécosystème prairial est à la fois la ressource pastorale pour l'alimentation du troupeau et l'habitat de reproduction des oiseaux. Les trois modèles s'appuient sur des modèles matriciels en temps discret (CASWELL, 1989) qui lient la dynamique du couvert prairial à la dynamique des populations d'oiseaux. Les deux types de dynamique sont formalisés sur un pas de temps mensuel. **Chaque modèle simule les dynamiques d'évolution du couvert prairial** (croissance, sénescence et décomposition) et des populations d'oiseaux et calcule deux indicateurs de performances. La performance productive est le nombre de jours pâturés, exprimé en journées unité gros bovin par hectare et par an (UGB.jours/ha.an). **La performance écologique est la taille finale de la population d'oiseaux**, exprimée en nombre d'individus adultes. Pour plus de détails sur les modèles, voir SABATIER (2010)

La méthodologie de modélisation s'appuie sur la **théorie mathématique de la viabilité** (encadré 1). Cette théorie met l'accent sur la diversité des évolutions possibles de l'agroécosystème et s'intéresse aux décisions compatibles avec les objectifs visés, définis sous la forme de contraintes ou de seuils à ne pas franchir. L'approche de viabilité permet de révéler les stratégies de pâturage dites "viabiles", correspondant aux combinaisons de périodes et d'intensités de pâturage qui réalisent au cours du temps un double objectif de performance écologique et



productive. Autrement dit, ces stratégies viables sont celles qui respectent les seuils qu'impose la réalisation de ces deux objectifs, sans que n'apparaissent de situations d'irréversibilité.

• Caractéristiques du modèle "parcelle"

Le modèle formalise l'interaction entre les périodes et l'intensité de pâturage et les dynamiques de population du vanneau huppé et du chevalier gambette à un horizon temporel de 15 ans. L'agroécosystème prairial, envisagé comme un patch homogène du point de vue des oiseaux, est assimilable, sur le plan productif, à une parcelle. Le modèle inclut les effets directs et indirects du pâturage sur les paramètres démographiques des oiseaux. Le chargement pendant la nidification induit un piétinement des nids qui affecte le nombre de poussins à l'éclosion. Le pâturage modifie la dynamique du couvert et détermine les hauteurs d'herbe. Au cours du mois suivant l'éclosion, la hauteur du couvert définit à son tour la qualité de l'habitat et la survie des juvéniles. L'utilisation de la théorie de la viabilité permet de déterminer les stratégies de pâturage qui respectent un

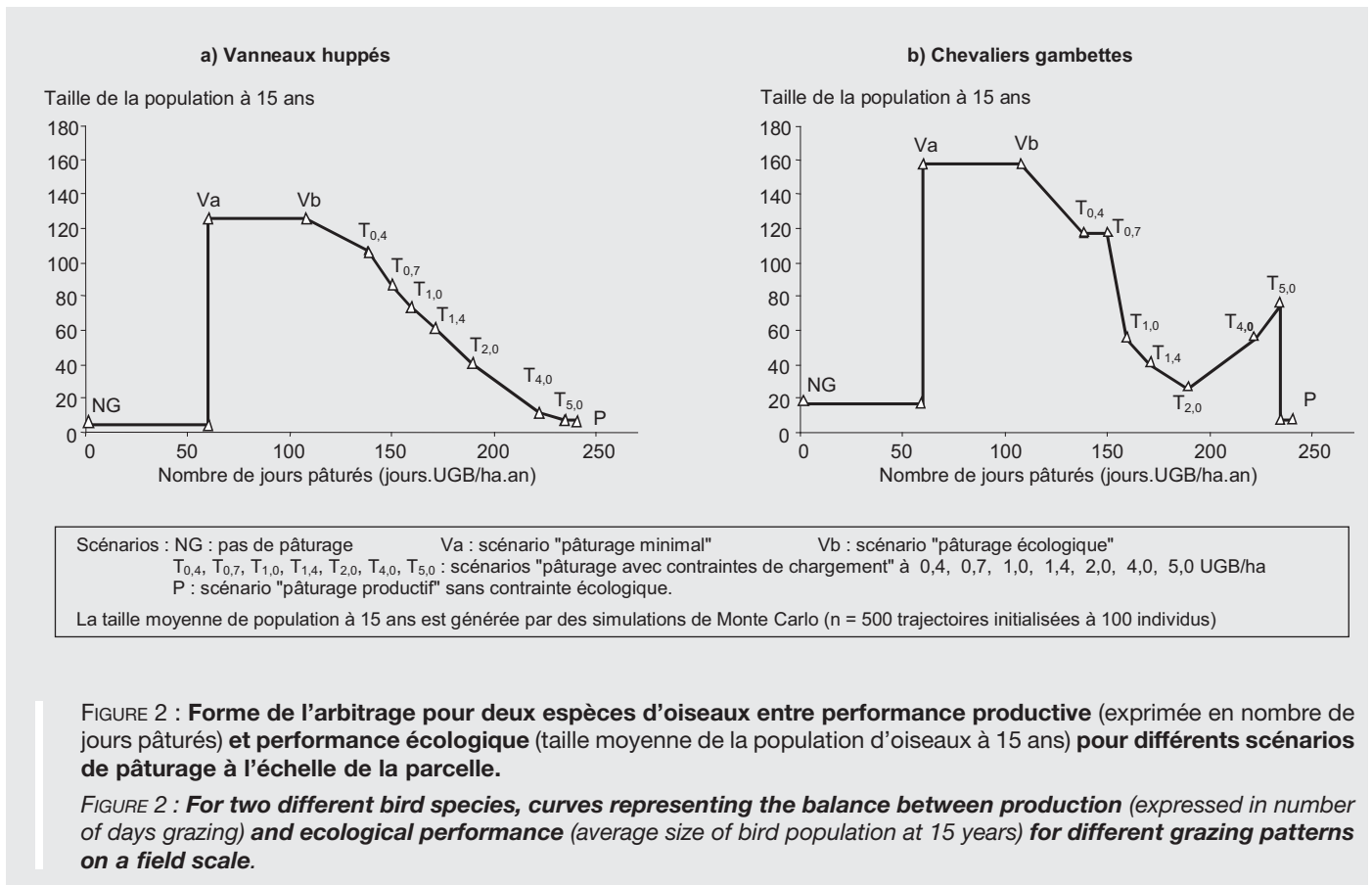
ensemble de contraintes au cours du temps. Trois contraintes sont considérées dans ce modèle :

- une contrainte alimentaire qui limite le chargement afin que le prélèvement par le pâturage ne dépasse pas la biomasse disponible dans la prairie ;
- une contrainte sur le piétinement qui limite l'impact direct des bovins sur la fécondité des oiseaux ;
- enfin, une contrainte de hauteur d'herbe qui assure une bonne survie des juvéniles.

L'utilisation de différents niveaux de contraintes écologiques et de différents critères de sélection au sein de l'ensemble des trajectoires viables permet d'identifier un nombre fini de trajectoires caractérisant la relation entre production et conservation. Chaque trajectoire est évaluée par ses performances écologique et productive.

• Caractéristiques du modèle "exploitation"

Le modèle représente les interactions entre production fourragère et conservation des deux espèces d'oiseaux limicoles à l'échelle de l'exploitation agricole (SABATIER, 2010). Il formalise les effets des usages (pâturage, fauche) aux deux échelles de l'exploitation et de la parcelle sur les dynamiques écologiques et productives. Il est composé d'un sous-système décisionnel et d'un sous-système biotechnique. Le sous-système décisionnel définit, à l'échelle de l'exploitation, la proportion des usages respectifs (fauche, pâture) et, à l'échelle de la parcelle, la période et l'intensité de chaque usage. Le sous-système biotechnique formalise la dynamique saisonnière de la production fourragère, la dynamique annuelle des populations d'oiseaux et leurs interactions. Trois usages agricoles composent la surface fourragère de l'exploitation : la pâture "écologique", la pâture "productive" et la fauche. La pâture "écologique" correspond à un pâturage de faible intensité, favorable aux oiseaux mais limitant pour l'éleveur en termes de chargement au plein printemps. La pâture "productive" correspond à une maximisation du pâturage. La fauche est réalisée en mai. Les trois usages interagissent pour l'alimentation des bovins. Les dynamiques des oiseaux intègrent les mouvements des adultes et des juvéniles entre les habitats générés par les trois usages ainsi que, pour chaque usage, leurs effets directs et indirects. Les contraintes de viabilité sont définies à l'échelle de l'usage agricole et à l'échelle de l'exploitation. La contrainte alimentaire définie précédemment est maintenue pour tous les usages. Les contraintes écologiques ne sont appliquées qu'à la pâture écologique. A l'échelle de l'exploitation, deux contraintes sont appliquées. Une première contrainte assure que la moyenne pondérée des chargements dans les différents usages n'excède pas le chargement à l'échelle de l'exploitation. Une deuxième contrainte fixe un seuil minimal de proportion de pâture écologique. La théorie de la viabilité permet de déterminer la proportion d'usages qui assure le maintien des populations d'oiseaux ainsi que la relation entre performances productive et écologique à l'échelle de l'exploitation. Cette relation a été étudiée pour deux types de fermes (intensive et extensive) traduisant des niveaux



contrastés de chargement sur les prairies, caractéristiques du gradient observé sur le site d'étude (0,8 à 2,0 UGB/ha de SFP).

• **Caractéristiques du modèle "paysage"**

Le modèle représente de façon spatialement explicite les **interactions entre production fourragère et conservation d'une population de vanneau huppé dans un paysage herbager** (SABATIER *et al.*, 2010b). Ce **paysage est formalisé par un treillis de 8x8 parcelles de 4 ha chacune**. Au niveau de chaque parcelle, le modèle inclut les effets directs et indirects de la fauche et de la pâture sur les traits de vie du vanneau huppé. A l'échelle du paysage, les mouvements des juvéniles sont représentés par des déplacements "intelligents" vers les parcelles environnantes les plus favorables pour leur survie. Comme au niveau exploitation, trois usages sont pris en compte : la fauche, la pâture "écologique" et la pâture "productive".

Pour étudier tous les niveaux d'hétérogénéité liés aux variations de proportion des trois usages et à leur agencement spatial, 117 000 paysages ont été simulés. De cet ensemble de paysages simulés, a été extrait le sous-ensemble (n=22 356 paysages) correspondant aux paysages ayant la même proportion de fauche que celle observée sur le site d'étude (*i.e.* 39 % de fauche). Les paysages sont caractérisés par la proportion des différents usages qui les composent ainsi que par leur structure, c'est-à-dire par la complexité de l'agencement spatial des usages qui les composent. Ces paysages ont permis de tra-

cer sur un large gradient d'hétérogénéité la relation entre performance productive (exprimée en UGB.jours/ha.an) et la performance écologique (taille de population d'oiseaux).

2. Résultats

■ **Au niveau de la parcelle, la conciliation implique un arbitrage entre performances productive et écologique**

Les simulations tracent la relation liant les deux types de performances (figure 2). Cette relation montre qu'**un minimum de pâturage est nécessaire pour assurer les conditions nécessaires au maintien des populations d'oiseaux**. Les niveaux intermédiaires de performance productive (scénarios Va, Vb, T_{0,4} et T_{0,7}) correspondent aux meilleurs niveaux de performance écologique pour les deux espèces. Partant de la situation sans pâturage (NG), l'utilisation de la prairie entraîne dans un premier temps une situation gagnant - gagnant où les deux performances sont améliorées : il faut un minimum de pâturage pour générer des hauteurs d'herbe favorables aux poussins (Va). Une frontière apparaît ensuite, à partir de laquelle il n'est plus possible d'améliorer l'une des deux performances sans nuire à la seconde (T_{0,4} à T_{5,0}). **A l'autre extrême, un fort pâturage de printemps correspond à une performance productive élevée aux dépens de la performance environnementale (P).**

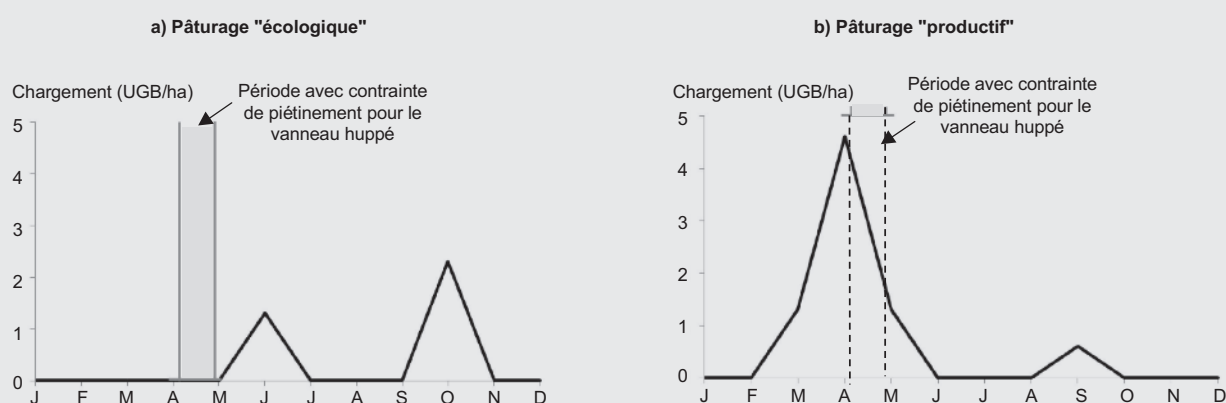


FIGURE 3 : Période et intensité du chargement sur une année pour les deux modalités testées : a) pâturage "écologique" et b) pâturage "productif".

FIGURE 3 : Stocking rate over a year for the two tested systems: a) 'ecological' grazing and b) 'intensive' grazing.

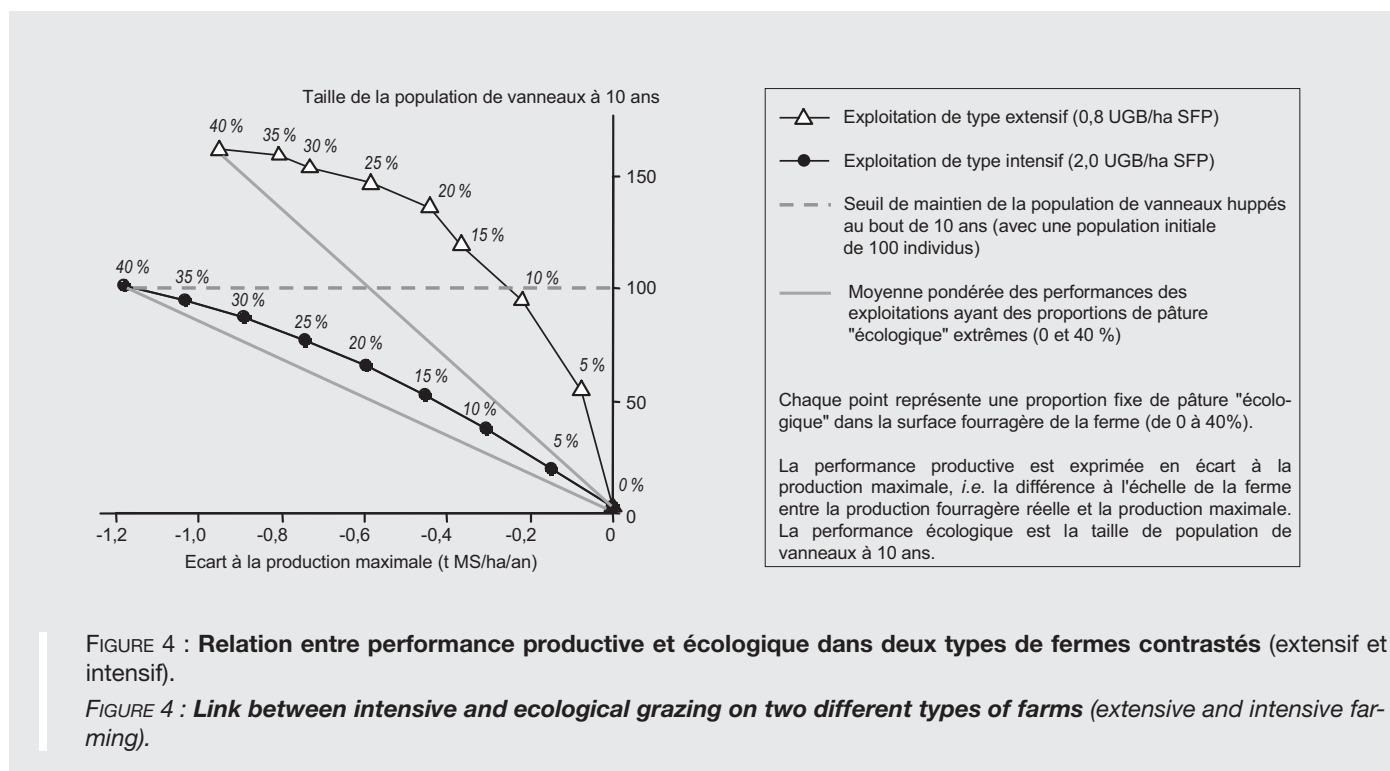
Les simulations montrent que **la modulation dans le temps de l'intensité de pâturage est un facteur déterminant de la conciliation** (figure 3). Par exemple, dans le cas du vanneau huppé, le modèle prédit que les stratégies impliquant un fort pâturage (figure 3b) maximisent la performance productive mais ne sont pas viables, puisqu'elles ne garantissent pas le maintien à long terme des populations. Elles valorisent au mieux la pousse de l'herbe très saisonnière des prairies de marais mais occasionnent un fort piétinement des nids. A l'inverse, les stratégies "pâturage écologique" viables limitent fortement le chargement en début de printemps (figure 3a). Elles correspondent à un pâturage différé, basé sur un report d'herbe sur pied en fin de printemps et sur la repousse d'automne. Elles entraînent donc une baisse de performance productive, le pâturage étant décalé sur des périodes où la biomasse disponible est moindre. Le pâturage d'automne peut toutefois générer un rabattement du couvert qui aura un effet différé sur le début du printemps suivant; cet effet différé assure un couvert favorable aux oiseaux malgré un faible pâturage de printemps. La modulation, au cours du temps, de l'intensité du pâturage constitue donc le facteur déterminant du compromis entre production et conservation.

La confrontation des données simulées et des données collectées sur les modes de gestion des éleveurs du marais Poitevin (n=97 parcelles) indique que seules 2 % des parcelles sont soumises à une gestion favorisant simultanément les deux traits de vie du vanneau huppé (fécondité et survie). Toutefois, une proportion importante des parcelles se révèle favorable à cet oiseau en termes soit de chargement (50 %), soit de hauteur d'herbe (15 %). Ce résultat indique que, sur le terrain, la hauteur du couvert prairial est un facteur plus limitant que le chargement pour vanneau huppé. Une telle situation illustre l'antagonisme entre la nécessité de limiter le piétinement en début de printemps et le besoin d'une faible hauteur d'herbe au milieu du printemps. En comparant l'attractivité des

parcelles pour le vanneau huppé et le chevalier gambette sur ce même critère, on observe que les parcelles ayant un chargement favorable au vanneau (50 % des parcelles en avril) sont plus nombreuses que celles favorables au chevalier (20 % des parcelles en mai). Dans les conditions actuelles de gestion des prairies, **il est donc plus facile de favoriser l'habitat d'une espèce précoce initiant son cycle de reproduction avant le démarrage de la période d'exploitation des prairies**. Ceci est cohérent avec la plus forte abondance du vanneau huppé par rapport au chevalier gambette (ISSA et BOUTIN, 2010).

L'examen des caractéristiques des parcelles des éleveurs montre que différents éléments jouent sur la mise en œuvre de modes de gestion répondant aux exigences des oiseaux limicoles. **Les parcelles favorables en termes de chargement ou de hauteur d'herbe sont peu ou pas fertilisées et font l'objet d'une mise à l'herbe tardive, après le 15 avril**. Elles sont principalement localisées dans le secteur le plus humide, à l'ouest du marais. Leur faible portance limite les possibilités de fertilisation et implique une mise à l'herbe avec un chargement modéré. A l'inverse, les parcelles défavorables sont localisées dans le secteur est du marais, moins humide et donc plus portant. Elles sont, pour la plupart, exploitées plus précocement et fertilisées.

Les modes de gestion de notre site d'étude montrent qu'**il est difficile de satisfaire simultanément les deux critères pour les oiseaux**. Toutefois, le fait qu'une proportion importante de parcelles remplisse au moins l'un des deux critères plaide en faveur du maintien d'**une diversité de modes de gestion** pour favoriser à long terme les populations d'oiseaux. Cette diversité **augmente les degrés de liberté de l'éleveur pour assurer la conciliation entre production et biodiversité** car elle permet de tirer profit de la complémentarité spatiale entre des modes de gestion partiellement favorables à l'un des deux traits de vie des oiseaux.



■ Au niveau de l'exploitation, la conciliation entre performance productive et écologique est plus coûteuse dans les exploitations intensives

Les simulations révèlent la forme de l'arbitrage entre performances productive et écologique au niveau de l'exploitation pour différentes proportions de pâture écologique (0 à 50 % de la SFP) dans deux types de fermes contrastés que nous qualifierons d'intensif et d'extensif (figure 4). Comme précédemment, il n'est pas possible de maximiser simultanément performance productive et écologique. **Une frontière d'arbitrage** émerge sur laquelle toute amélioration de la performance productive est associée à une réduction de la performance écologique et *vice versa*. Toutefois, la forme concave de l'arbitrage indique qu'à l'échelle de l'exploitation, les performances globales sont supérieures à la moyenne pondérée des performances d'exploitations ayant des proportions extrêmes de pâture écologique (0-40 %).

Les simulations montrent **des différences entre types de fermes**. Partant d'une situation optimale du point de vue de la production, *i. e.* sans contraintes écologiques, il est plus facile d'améliorer la performance écologique dans les exploitations extensives que dans les exploitations intensives. En effet, assurer le maintien à long terme des populations d'oiseaux pénalise la production fourragère de 6 % dans les exploitations extensives et de 22 % dans les exploitations intensives. Cette différence s'explique par la proportion des trois usages, les fermes intensives devant allouer 40 % de leur SFP à de la pâture "écologique" pour compenser les effets négatifs de la

pâture productive (40 %) et de la fauche (20 %) sur l'évolution des populations d'oiseaux. En revanche, dans les fermes extensives, 15 % de pâture "écologique" dans la SFP suffisent pour compenser les effets négatifs de la pâture productive (50 %) et de la fauche (35 %). Les périodes et intensités de pâturage en pâture productive dans les différentes exploitations expliquent ces différences. En effet, dans une ferme intensive, le chargement en avril - mai est nettement supérieur (4 UGB/ha) et pénalise fortement la fécondité des oiseaux *via* la destruction des nids. Celle-ci reste beaucoup plus modérée dans les fermes extensives où le chargement ne dépasse pas 1,5 UGB/ha.

Ces **variations de proportion des différents usages et d'intensité du chargement de la pâture productive induisent des différences de performance productive** à l'échelle de l'exploitation. L'autonomie fourragère est peu modifiée dans les fermes extensives où les prairies pâturées et fauchées couvrent la quasi-totalité des besoins du troupeau. En revanche, **l'autonomie alimentaire plus limitée des fermes intensives (50 %) est d'autant plus réduite** que la surface de pâture écologique augmente pour maintenir les populations d'oiseaux (35 %).

La proportion de pâture "écologique" est la variable clé déterminant les tendances des populations d'oiseaux (figure 5). A proportion identique, les tailles de population sont supérieures dans les fermes extensives où les taux de croissance des oiseaux sont meilleurs. Pour le vanneau huppé, l'absence de pâture écologique induit un fort déclin conduisant à la quasi-extinction de la population au bout de 10 ans dans les deux types de ferme. **A proportion équivalente de pâture écologique, les tailles de population du chevalier gambette sont**

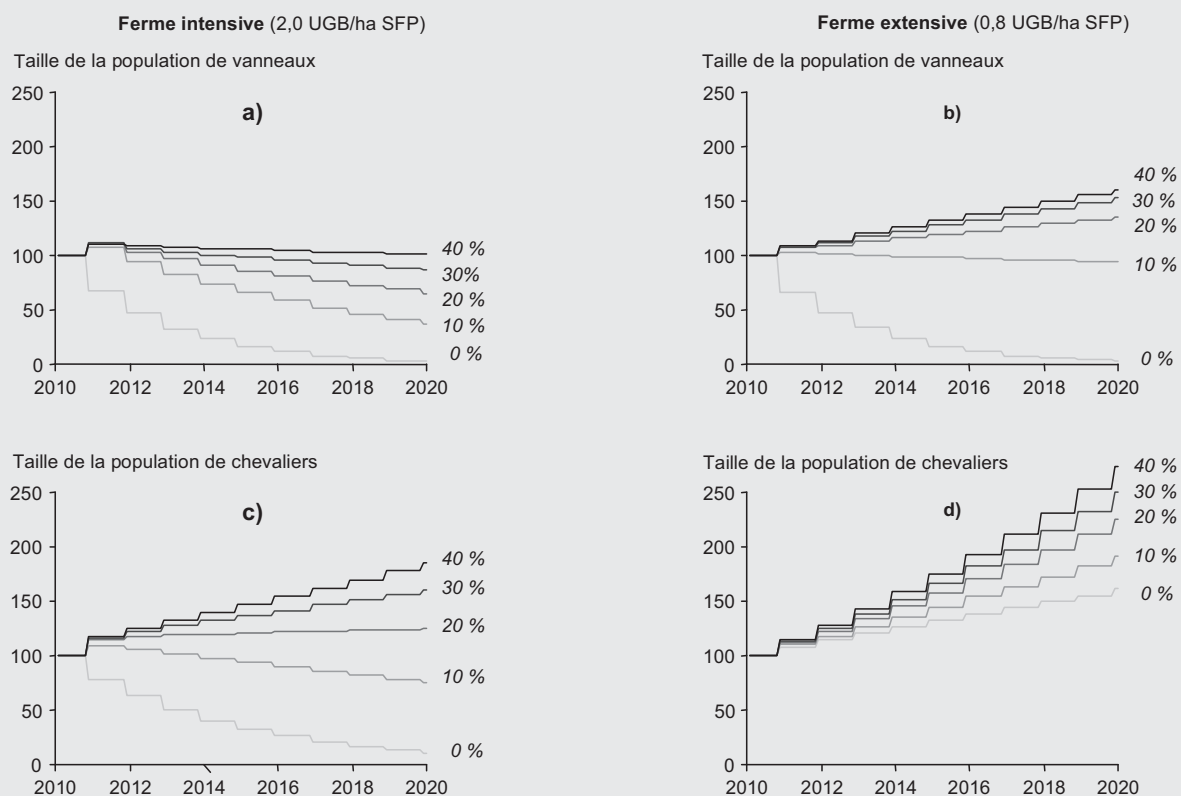


FIGURE 5 : Evolution de la taille des populations de vanneaux huppés et chevaliers gambettes (à 10 ans) pour différentes proportions (0-40 %) de pâture “écologique” dans la surface fourragère en ferme intensive (a et c) et extensive (b et d).

FIGURE 5 : Changes in the size of the population of Northern Lapwings and Common Redshanks (at 10 years) for varying extents of ‘ecological’ grazing land included in main fodder land in intensive (a and c) and extensive farming systems (b and d).

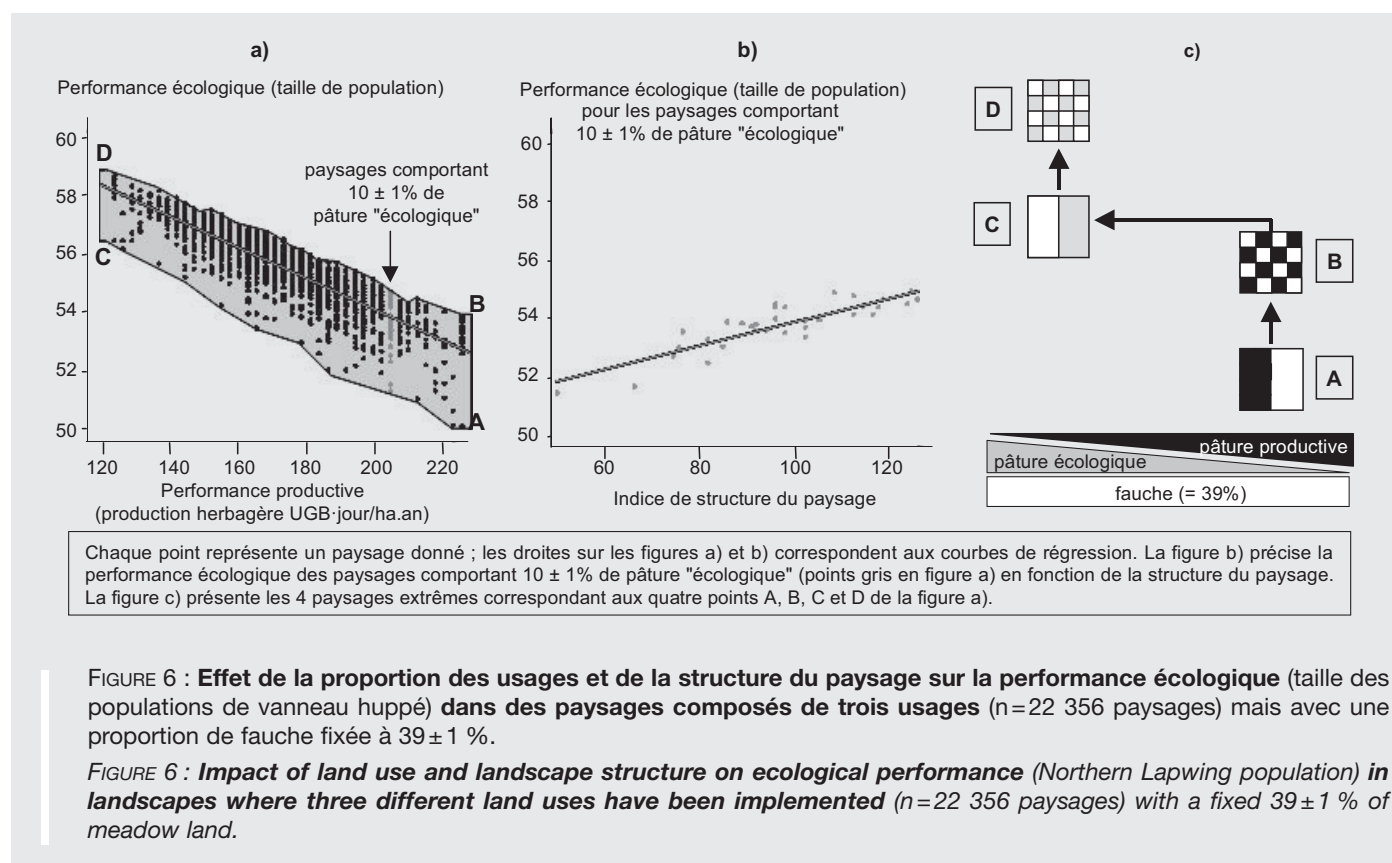
toujours supérieures à celle du vanneau huppé dans les deux types de ferme. Les simulations montrent aussi qu’une plus faible proportion de pâture “écologique” assure le maintien du chevalier gambette dans les fermes intensives (20 % *versus* 45 % pour le vanneau huppé). Dans les fermes extensives, le maintien à long terme des populations de chevalier gambette est même assuré sans pâture écologique. Ce résultat s’explique par les effets de la pâture productive sur les paramètres démographiques des deux espèces. Alors que cet usage favorise la fécondité des deux espèces en raison du niveau modéré de chargement pendant leur incubation (avril - mai), il génère des hauteurs d’herbe trop importantes pour le vanneau, dont la survie des poussins se trouve pénalisée. Ces mêmes hauteurs d’herbe sont plus adaptées au chevalier, dont la survie des poussins est favorisée. Il en résulte que le succès reproducteur du chevalier gambette est relativement élevé dans la pâture productive des fermes extensives alors qu’il est nettement plus faible pour le vanneau huppé.

Les analyses au niveau de l’exploitation montrent que **la conciliation entre production et biodiversité est possible mais** que, tout comme au niveau de la parcelle, **elle a un coût sur le plan productif**. Il est

néanmoins intéressant de souligner que si le passage de la pâture productive à la pâture écologique se traduit par une baisse de près de 50 % de la performance productive à l’échelle de la parcelle, cette baisse est moindre à l’échelle de l’exploitation. Nous montrons ainsi qu’à **l’échelle exploitation**, intégrant les interactions entre différents usages, **les conditions de la conciliation sont améliorées**.

■ La structure du paysage est un levier pour améliorer la relation d’arbitrage

Les résultats simulant la composition et la structure de 22 356 paysages ayant 39 % de parcelles fauchées montrent une relation négative entre la performance productive et la performance écologique (figure 6a ; Anova $p < 0,1$; $r^2 = 0,2$). La taille de population de vanneau huppé décroît avec l’augmentation de la production herbagère qui est une fonction linéaire de la proportion des deux types d’usages : pâture “productive” et pâture “écologique”. Sachant que la proportion de fauche est constante, les paysages les plus performants sur le plan de la production fourragère sont ceux dominés par la pâture “productive” alors que les paysages les plus



performants pour la conservation du vanneau huppé sont ceux dominés par la pâture "écologique". La proportion des usages est donc un levier important de l'arbitrage entre ces deux ordres de performance.

Toutefois, une large part de la variance reste inexpliquée par la proportion des usages. Pour une proportion constante de pâture "écologique" (par ex. $10\% \pm 1\%$ dans la figure 6b), cette variance résiduelle est fortement expliquée par la structure du paysage (Anova $p < 0,001$, $r^2 = 0,75$). **Pour une proportion donnée des trois usages, une augmentation de la complexité de l'arrangement spatial des usages dans le paysage permet d'améliorer la performance écologique sans perdre sur la dimension productive.**

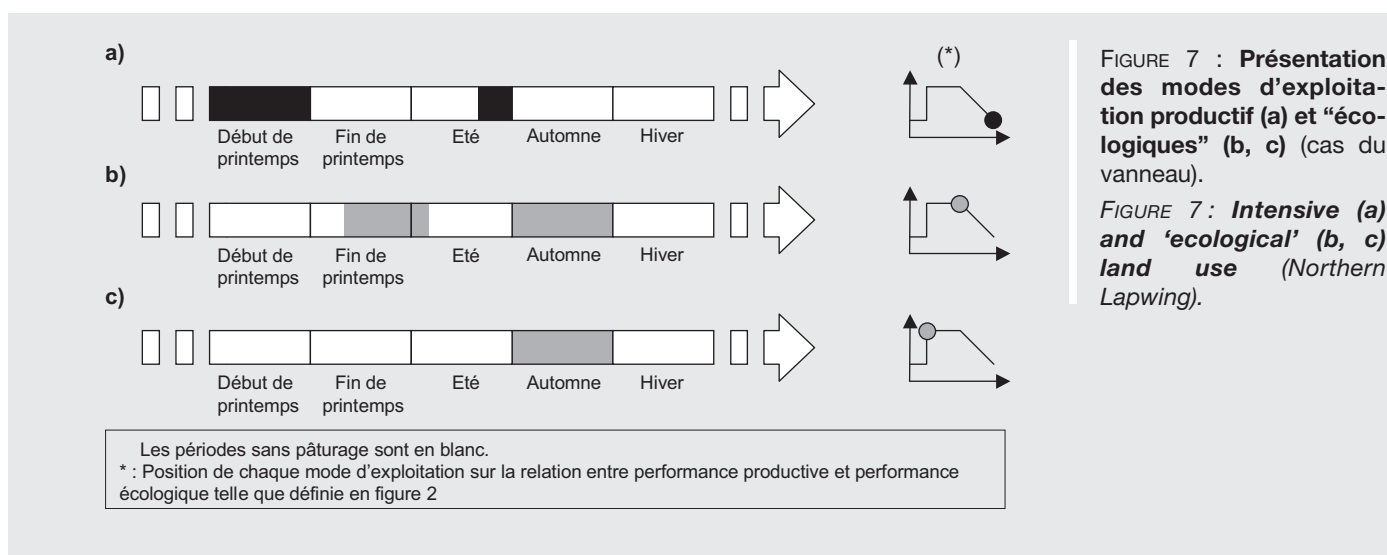
La figure 6c synthétise les différents leviers de la conciliation. Les quatre paysages représentés aux extrêmes du nuage de points montrent que **le levier de la "proportion" entre pâtures "productive" et "écologique"** (passage des paysages A à C et B à D) **est le plus efficace** pour améliorer la performance écologique ; néanmoins, ce levier implique une forte réduction de la production fourragère (environ 50 %) puisqu'il diminue la pâture "productive" au profit de la pâture "écologique". Pour chacun des paysages homogènes des extrêmes du gradient (passage des paysages A à B et C à D), **le levier lié à la structure du paysage permet pour un niveau donné de production fourragère d'augmenter la performance écologique.** La structure spatiale du paysage est donc un levier pour améliorer la relation d'arbitrage entre production et conservation.

3. Discussion

■ La diversité des pratiques, mécanisme central de la conciliation entre production et conservation

• L'arbitrage entre production et conservation résulte d'un choix de modes d'exploitation

Les paysages prairiaux sont constitués d'ensembles de parcelles sur lesquelles les éleveurs appliquent différents modes d'exploitation. Un mode d'exploitation est défini comme une succession raisonnée de périodes d'utilisation au cours de l'année, caractérisées chacune par un niveau et un mode de prélèvement de la biomasse fourragère (BÉRANGER et MICOL, 1981). Le choix pour l'éleveur d'affecter un mode d'exploitation à une parcelle dépend à la fois de sa stratégie d'alimentation et de considérations "tactiques" liés à l'adéquation de ses choix stratégiques aux conditions du moment (climatiques en particulier) (GUÉRIN *et al.*, 1994). Dans ce travail **nous avons caractérisé deux modes d'exploitation type** (figure 7). **Le mode d'exploitation productif** correspond à la maximisation du pâturage sans contrainte écologique (figure 7a) via un fort pâturage de début de printemps couplé au pâturage des repousses en fin d'été. Sur le plan écologique, il est défavorable aux deux espèces. **Le mode d'exploitation "écologique"** correspond à la maximisation du pâturage sous contraintes écologiques (avec les deux déclinaisons possibles, correspondant à Va et Vb :



figures 7b, c). C'est un mode d'exploitation qui combine un pâturage d'automne à un pâturage de fin de printemps ayant des finalités distinctes. Tout d'abord, la valeur d'usage du fourrage n'est pas la même au printemps, où la ressource en herbe est abondante sur tous les types de prairies, et à l'automne, où elle est plus rare et le pâturage d'automne permet de disposer d'une ressource alimentaire peu coûteuse dans une période de faible disponibilité alimentaire. Ensuite, le pâturage d'automne conduit à retarder le pic de production suivant vers la fin du printemps. Pour l'éleveur, cela signifie une sortie plus tardive des animaux mais aussi une plus grande disponibilité alimentaire en fin de printemps. Sur le plan écologique, ce mode d'exploitation est favorable aux deux oiseaux puisqu'il permet de générer des hauteurs d'herbe favorables sans risque de piétinement des nids grâce aux effets différés du pâturage.

Ce sont donc les modes d'exploitation dans leur ensemble qui sont à la base de l'arbitrage entre production et conservation. En d'autres termes, cet arbitrage ne dépend pas de telle ou telle période de pâturage prise isolément mais bien de l'interaction entre une diversité de séquences de pâturage au sein d'un mode d'exploitation.

On le voit, se limiter au critère quantité de biomasse prélevée ne permet pas de traduire la complexité de la rationalité de l'éleveur. Elle dépend notamment de choix stratégiques définis au niveau de l'exploitation. Ces choix traduisent des objectifs de maximisation de la production ou d'économie des coûts. Ils conditionnent les modes d'exploitation de chaque parcelle en interaction avec les modes d'exploitation des autres années et des autres parcelles. Sur le plan écologique, les questions de conservation de la biodiversité ne dépendent donc pas uniquement de sacrifices de production "consentis" par l'éleveur mais plus généralement de sa rationalité. Ainsi, le pâturage écologique génère de bonnes performances écologiques sans que celles-ci ne soient explicitement recherchées par l'éleveur. Partant de ce cas d'étude, les évolutions récentes de la biodiversité dans les agroécosystèmes européens semblent donc procéder tout autant de

la modification des pratiques culturelles et pastorales en elles-mêmes que de changements plus généraux des rationalités dans le monde agricole.

• Interaction entre modes d'exploitation au sein d'une exploitation agricole

Au niveau de l'exploitation nous avons montré que la conciliation entre production et conservation était rendue possible par la combinaison d'une diversité de modes d'exploitation complémentaires dans le temps. Chaque mode d'exploitation a une finalité spécifique et c'est leur interaction au sein de l'exploitation qui définit l'arbitrage entre production et conservation. La concavité de la courbe liant performance productive et écologique à l'échelle de l'exploitation (figure 4) illustre les mécanismes d'interaction tant productifs qu'écologiques entre les différents modes d'exploitation.

Au-delà des mécanismes d'interaction entre fauche et pâture pris en compte dans le modèle, la **complémentarité** (au sens productif) **entre modes d'exploitation** par le pâturage est un atout fort pour un éleveur visant à limiter sa dépendance aux stocks de fourrage. Ainsi, **la combinaison** en proportions adéquates **de modes d'exploitation de type écologique et productif réduit les périodes où un apport de fourrage doit être effectué** (figure 8).

• Une structure spatiale complexe des paysages favorise la complémentarité écologique

Avec le modèle "paysage", nous montrons que l'agencement spatial de parcelles aux modes d'exploitation complémentaires améliore la conciliation entre production et conservation, même dans des paysages correspondant à des objectifs stratégiques orientés vers la maximisation de la production fourragère. Pour une même proportion de modes d'exploitation, une structure de paysage complexe favorise les mécanismes de complémentarité écologique. C'est ici la diversité spatiale des modes d'exploitation qui favorise la conciliation entre production et conservation. Sur le plan de la production agricole, l'agencement spatial des parcelles agricoles est

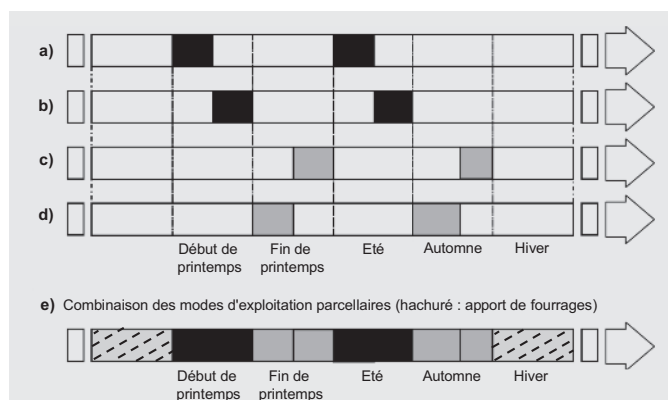


FIGURE 8 : Complémentarité (sur le plan productif) entre une diversité de modes d'exploitation parcellaires par le pâturage : a et b) modes d'exploitation productifs, c et d) modes d'exploitation "écologiques" ; e) séquence combinant les 2 modes d'exploitation.

FIGURE 8 : Complementary grazing practices implemented on different parcels of land : a and b) intensive land use, c and d) 'ecological' land use, e) strategy based on a combination of these 2 types of land use.

une contrainte forte de l'allocation des usages agricoles. En particulier, la proximité géographique des parcelles est un critère déterminant des associations de parcelles dans le projet de l'éleveur et donc de l'allocation spatiale de modes d'exploitation en interaction (HAVET *et al.*, 2005 ; TICHIT *et al.*, 2008). Le modèle spatialement explicite¹ présenté dans cet article n'intègre pas cette dimension et la prise en compte des règles d'allocation spatiales des modes d'exploitation des prairies par l'éleveur est un des objectifs prioritaires de la suite de ce travail.

■ Vers des mesures agri-environnementales conçues à l'échelle territoriale

Nos résultats suggèrent que **la structure du paysage peut être envisagée comme un levier efficace pour assurer la coexistence de fonctions agricoles et écologiques**. Les politiques de conservation à ce niveau d'organisation demanderaient alors des coordinations entre différents acteurs. Certaines contraintes semblent levées ou tout du moins relâchées mais d'autres contraintes apparaissent à cette nouvelle échelle, notamment la question de la gestion collective du territoire. Comme le souligne HANNACHI (2011), les coordinations entre agriculteurs sont efficaces dès lors que les agriculteurs poursuivent un objectif partagé. La question est donc de **savoir dans quelle mesure des éleveurs pourraient avoir un intérêt commun à conserver la biodiversité**. L'action collective autour de la conservation de la biodiversité en prairies humides peut paraître problématique mais l'exemple de la gestion du rôle des genêts (*Crex crex*) dans les basses vallées angevines mon-

tre que la biodiversité peut fédérer les éleveurs dès lors qu'ils acquièrent un statut d'expert et de médiateur (LE GUEN et SIGWALT, 1999) ou que la biodiversité devient un élément de signalisation de la qualité des produits agricoles (BILLAUDEAU et THAREAU, 2008). Le développement de structures telles que les coopératives environnementales aux Pays-Bas (RENTING et PLOEG, 2001), pouvant servir de cadre pour la négociation et la coopération, semble alors un moyen de faire émerger des intérêts communs autour de la biodiversité. Dans un tel contexte, **des modèles tels que ceux développés dans cette étude peuvent jouer un rôle de catalyseur de l'action collective** en fournissant des bases de réflexion pour la construction de points de vue partagés entre différents acteurs (SABATIER *et al.*, 2010c ; MELMAN *et al.*, 2010).

■ Limites et perspectives

Les modèles développés dans ce travail mettent l'accent sur le couplage d'un système agricole à un système écologique et sur la formalisation explicite des dynamiques. Nous n'avons pas cherché à développer une modélisation très fine de chacun des systèmes et il en résulte **plusieurs limites**.

Sur le **plan productif**, deux aspects mériteraient d'être approfondis. Les indicateurs de performance productive sont centrés sur la production fourragère. Ils sont interprétables en termes de coûts d'alimentation évités grâce au pâturage et à la fauche mais ne donnent d'information que sur la production primaire. Le développement d'indicateurs de production secondaires tels que l'indicateur "kg de viande autonome" (JOUVEN, 2006) demanderait d'aller plus loin dans la formalisation de processus biotechniques (par ex. l'ingestion et la croissance des animaux). Sur le **plan de la décision**, les modèles développés dans cet article sont assez succincts. Prendre en compte le choix des modes d'exploitation les plus intéressants pour l'éleveur demanderait soit d'enrichir la composante décisionnelle des modèles, soit d'analyser plus finement les sorties au regard des différents modes d'exploitation.

Sur le **plan écologique**, la formalisation du mouvement des juvéniles dans le modèle reste théorique et traduit plus des hypothèses cohérentes vis-à-vis d'observations qualitatives (voir notamment LEMEL, 2007) que de réelles quantifications des mouvements. Ces observations, qui ont permis de formaliser de façon frustrante les distances de mouvement des juvéniles, mériteraient d'être approfondies pour améliorer les sorties numériques du modèle "paysage".

Malgré les faiblesses évoquées ci-dessus qui limitent la précision des prédictions découlant des modèles utilisés, **les trois principaux résultats sont qualitatifs en accord avec des travaux réalisés sur d'autres groupes et d'autres milieux** :

- les meilleures performances écologiques sont atteintes aux niveaux intermédiaires d'intensité des usages agricoles (par ex. pour la flore : UEMATSU *et al.*, 2010 ; pour les insectes : MARINI *et al.*, 2009) ;

1 : Un modèle spatialement explicite prend en compte la localisation des usages agricoles là où un modèle spatialement implicite ne prend en compte que la proportion de ces usages dans le paysage.

- les performances d'un paysage composé d'une diversité d'usages ne se résument pas à la moyenne des performances de chaque usage (PERFECTO et VANDERMEER, 2010) ;

- l'agencement spatial des usages permet d'améliorer l'arbitrage entre production et conservation (par ex. GROOT *et al.*, 2007). En liant les dynamiques aux échelles de la parcelle, de l'exploitation et du paysage, notre approche a permis de dépasser ces travaux en intégrant les mécanismes multi-échelles sous-jacents. La prise en compte de tels mécanismes permet d'identifier les différents leviers d'action disponibles.

Conclusion

Aux différents niveaux d'organisation spatiaux et temporels, nos résultats montrent que la conciliation entre production et biodiversité dépend des interactions spatio-temporelles des différents modes d'exploitation. De la parcelle au paysage et de l'intra-annuel à l'interannuel, chaque changement d'échelle offre de nouveaux leviers d'action. Du point de vue de la gestion agri-environnementale, ces résultats montrent que des mesures définies aux échelles annuelle et parcellaire limitent fortement les possibilités de conciliation entre production et conservation dans les agroécosystèmes prairiaux. Chaque échelle apporte de nouvelles possibilités d'interaction entre pratiques et donc de nouveaux leviers pour la conciliation mais également de nouvelles contraintes. L'interaction au sein d'une diversité de modes d'exploitation pris dans leur ensemble est le mécanisme de base de l'arbitrage entre production agricole et biodiversité. Cette nouvelle approche de la gestion de la biodiversité en territoires productifs ouvre des perspectives prometteuses pour améliorer la performance d'une agriculture multifonctionnelle.

Accepté pour publication,
le 19 octobre 2011.

Remerciements : Ce travail a été mené avec le support financier de l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du programme SYSTERRA, projet "ANR-08-STRA-007, FARMBIRD - Coviability models of FARMing and BIRD biodiversity". Il a bénéficié d'une collaboration avec l'unité expérimentale de Saint-Laurent-de-la-Prée et une soixantaine d'agriculteurs du marais Poitevin.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGREIL C. (2003) : *Pâturage et conservation des milieux naturels : Une approche fonctionnelle visant à qualifier les aliments à partir de l'analyse du comportement d'ingestion chez la brebis*, PhD, INA P-G.
- ANDREN H., DELIN A., SEILER A. (1997) : "Population response to landscape changes depends on specialization to different landscape elements", *Oikos*, 80, 193-196.
- AUBIN J.P. (1991) : *Viability theory*, Boston, MA ; Birkäuser.
- BEINTEMA A.J., MUSKENS G.J.D.M (1987) : "Nesting success of birds breeding in Dutch agricultural grassland", *J. Applied Ecology*, 24, 743-758.
- BENTON T.G., VICKERY J.A., WILSON J.D. (2003) : "Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key?", *Trends in Ecology & Evolution*, 18, 182-188.
- BÉRANGER C., MICOL D. (1981) : "Use of grass by cattle at pasture. Importance of stocking rate and grazing system", *Fourrages*, 122, 73-93.
- BILLAUDEAU V., THAREAU B. (2008) : *L'éleveur et l'Oiseau : territoires de communication*, Colloque *Economie sociale et solidaire : Nouvelles pratiques et dynamiques territoriales*, Nantes.
- BROTONS L., WOLFF A., PAULUS G., MARTIN J.L. (2005) : "Effect of adjacent agricultural habitat on the distribution of passerines in natural grasslands", *Biological Conservation*, 124, 407-414.
- CASWELL H. (1989) : *Matrix population models* (2nd edition), Sunderland, MA ; Sinauer Associates.
- DUNCAN P., HEWISON A.J.M., HOUTE S., ROSOUX R., TOURNEBIZE T., DUBS F., BUREL F., BRETAGNOLLE V. (1999) : "Long-term changes in agricultural practices and wildfowling in an internationally important wetland, and their effects on the guild of wintering ducks", *J. Applied Ecology*, 36, 11-23.
- DUNNING J.B., DANIELSON B.J., PULLIAM H.R. (1992) : "Ecological processes that affect populations in complex landscapes", *Oikos*, 65, 169-175.
- DURANT D., TICHIT M., KERNEIS E., FRITZ H. (2008A) : "Management of agricultural wet grasslands for breeding waders: integrating ecological and livestock system perspectives - a review", *Biodiversity and Conservation*, 17, 2275-2295.
- DURANT D., TICHIT M., FRITZ H., KERNEIS E. (2008B) : "Field occupancy by breeding lapwings *Vanellus vanellus* and redshanks *Tringa totanus* in agricultural wet grasslands", *Agriculture Ecosystems and Environment*, 128, 146-150.
- European Bird Census Council (2010) : www.ebcc.info
- FAHRIG L., BAUDRY J., BROTONS L., BUREL F., CRIST T.O., FULLER R.J., SIRAMI C., SIRIWARDENA G., MARTIN J.L. (2011) : "Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes", *Ecology Letters*, 14, 101-112.
- FARRUGIA A., MARTIN B., BAUMONT R., PRACHE S., DOREAU M., HOSTE H., DURANT D. (2008) : "Quels intérêts de la diversité floristique des prairies permanentes pour les ruminants et les produits animaux ?", *INRA Production animales*, 21, 181-200.
- GALBRAITH H. (1988) : "Effect of agriculture on the breeding ecology of lapwings *Vanellus vanellus*", *J. Applied Ecology*, 25: 487-503.
- GROOT J.C.J., ROSSING W.A.H., JELLEMA A., STOBELAAR D.J., RENTING H., VAN ITERSUM M.K. (2007) : "Exploring multi-scale trade-offs between nature conservation, agricultural profits and landscape quality—A methodology to support discussions on land-use perspectives", *Agriculture Ecosystems and Environment*, 120, 58-69.
- GUÉRIN G., LÉGER F., PFLIMLIN A. (1994) : *Stratégies d'alimentation. Méthodologie d'analyse et de diagnostic de l'utilisation et de la gestion des surfaces fourragères et pastorales*, Coll. Lignes, Institut de l'Élevage.

- HANNACHI M. (2011) : *La coopération au service du bien commun. Les stratégies des Entreprises de Collecte et de Stockage de céréales face aux OGM*, thèse de doctorat, mention Sciences de Gestion, Université Versailles Saint Quentin, 302 p.
- HAVET A., PONS Y., KERNEIS E. (2005) : "Evaluer les contraintes spatiales à l'utilisation des prairies et les marges de manœuvres des exploitations face à des demandes environnementales. Un exemple d'OLAE en Vendée", *Les Cahiers de la multifonctionnalité*, 5, 43-55.
- ISSA N., BOUTIN J.M. (2010) : *Anatidés et limicoles nicheurs en France : enquête 2010, présentation et méthodologie*, Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer
- JIGUET F. (2010) : *Les résultats nationaux du programme STOC de 1989 à 2009*, www.mnhn.fr/vigie-nature
- JOUVEN M. (2006) : *Quels équilibres entre production animale et utilisation durable des prairies dans les systèmes bovins allaitants herbagers ? Une approche par modélisation des interactions conduite-troupeau-ressources*, PhD, INA P-G.
- JOUVEN M., BAUMONT R. (2008) : "Simulating grassland utilization in beef suckler systems to investigate the trade-offs between production and floristic diversity", *Agricultural Systems*, 96, 260-272.
- KLEIJN D., BERENDSE F., SMIT R., GILISSEN N. (2001) : "Agri-environment schemes do not effectively protect biodiversity in Dutch agricultural landscapes", *Nature*, 413, 723-725.
- KLEIJN D., BAQUERO R.A., CLOUGH Y., DIAZ M., DE ESTEBAN J., FERNANDEZ F., GABRIEL D., HERZOG F., HOLZSCHUH A., JOHL R., KNOP E., KRUESS A., MARSHALL E.J.P., STEFFAN-DEWENTER I., TSCHARNTKE T., VERHULST J., WEST T.M., YELA J.L. (2006) : "Mixed biodiversity benefits of agri-environment schemes in five European countries", *Ecology Letters*, 9, 243-254.
- LE GUEN R., SIGWALT A. (1999) : "Le métier d'éleveur face à une politique de conservation de la bio-diversité", *Economie Rurale*, 249, 41-48.
- LEMEL J.Y. (2007) : *Système d'élevage performants dur le plan de la conservation des limicoles*, Rapport final, INRA, Paris.
- LE ROUX X., BARBAULT R., BAUDRY J., BUREL F., DOUSSAN I., GARNIER E., HERZOG F., LAVOREL S., LIFRAN R., ESTRADA J.R., SARTHOU J.P., TROMMETTER M. (2008) : *Agriculture et biodiversité, valoriser les synergies*, INRA, 116 p.
- MARINI L., FONTANA P., BATTISTI A., GASTON K.J. (2009) : "Response of orthopteran diversity to abandonment of semi-natural meadows", *Agriculture Ecosystems and Environment*, 132, 232-236.
- MARTIN G. (2009) : *Conception par simulation de conduites de prairies au niveau exploitation agricole pour atteindre des objectifs agri-environnementaux dans des territoires herbagers*, PhD, Université de Toulouse.
- MARTIN G., HOSSARD L., THEAU J.P., THEROND O., JOSIEN E., CRUZ P., RELIER J.P., MARTIN-CLOUAIRE R., DURU M. (2009) : "Characterizing potential flexibility in grassland use. Application to the French Aubrac area", *Agronomy for sustainable development*, 29, 381-389.
- MELMAN D., SCHOTMAN A., VANMEULEBROUK B., KIERS M., MEEWSEN H., ROOSENSCHOON O., DE SNOO G (2010) : "An internet-accessible tool for drawing up tailor made management plans for meadow birds", *Aspects of Applied Biology*, 100, *Agri-environment schemes - What have they achieved and where do we go from here?*, pp. 405-414.
- MILSON T.P., LANGTON S.D., PARKIN W.K., PEEL S., BISHOP J.D., HART J.D., MOORE N.P. (2000) : "Habitat models of bird species' distribution: an aid to the management of coastal grazing marshes", *J. Applied Ecology*, 37, 706-727.
- PERFECTO I., VANDERMEER J. (2010) : "The agroecological matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model", *Proc. National Academy of Sciences of the USA*, 107, 5786-5791.
- REDFERN C.P.F. (1982) : "Lapwing nest sites and chick mobility in relation to habitat", *Bird Study*, 29, 201-208.
- RENTING H., VAN DER PLOEG J.D. (2001) : "Reconnecting nature, farming and society: environmental cooperatives in the Netherlands as institutional arrangements for creating coherence", *J. Environmental Policy Planning*, 3, 85-101.
- SABATIER R. (2010) : *Arbitrages multi-échelles entre production agricole et conservation de la biodiversité dans un agroécosystème prairial*, PhD, AgroParisTech, Paris, 228 p. ; http://pastel.archives-ouvertes.fr/docs/00/61/97/30/PDF/SabatierR_Manuscrit.pdf
- SABATIER R., KERNÉIS E., TICHIT M. (2008) : "Designing grassland landscapes for economic or ecological priorities: application to livestock farming and birds", *Empowerment of the rural actors: a renewal of farming systems perspectives, 8th European IFSA Symposium*, Clermont-Ferrand, France, 6-10 July 2008, INRA SAD, 581-589.
- SABATIER R., DOYEN L., TICHIT M. (2010A) : "Modelling trade-offs between livestock grazing and water conservation in a grassland agroecosystem", *Ecological Modelling*, 221, 1292-1300.
- SABATIER R., DOYEN L., TICHIT M. (2010B) : *Reconciling production and conservation in agro-landscape, does landscape heterogeneity help?*, *Innovation and sustainable development in agriculture and food*, Montpellier 06/2010, 10 p. http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/51/05/52/PDF/Sabatier_Reconciling_produc tion.pdf
- SABATIER R., GRENÉ P., LÉGER F., DOYEN L., TICHIT M. (2010c) : "Concilier à long terme performances productive et écologique. Un modèle de co-viabilité pâturage - oiseaux prairiaux en marais", *FaçSADe*, 30, 4.
- TICHIT M., DURANT D., KERNÉIS E. (2005A) : "The role of grazing in creating suitable sward structures for breeding waders in agricultural landscapes", *Livestock production science*, 96, 119-128.
- TICHIT M., RENAULT O., POTTER T. (2005B) : "Grazing regime as a tool to assess positive side effects of livestock farming systems on wading birds", *Livestock production science*, 96, 109-117.
- TICHIT M., GRENÉ P., LÉGER F. (2006) : "Management intensity and biodiversity: is farm size the key? ", *57th Meeting European Animal Production Association*, Antalya.
- TICHIT M., HAVET A., RENAULT O., POTTER T. (2008) : "Gérer l'hétérogénéité des prairies à différentes échelles : une clé pour la conception d'un système d'élevage performant sur le plan environnemental", *Les exploitations d'élevage en mouvement. Flexibilités et dynamiques face aux aléas et aux nouveaux enjeux des filières et des territoires*, Dedieu B., Chia E., Moulin C., Leclerc B., Tichit M. éd., 273-286, QUAE, Paris.
- TSCHARNTKE T., KLEIN A. M., KRUESS A., STEFFAN-DEWENTER I., THIES C. (2005) : "Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management", *Ecology Letters*, 8, 857-874.
- UEMATSU Y., KOGA T., MITSUHASHI H., USHIMARU (2010) : "Abandonment and intensified use of agricultural land decrease habitats of rare herbs in semi-natural grasslands", *Agriculture Ecosystems and Environment*, 135, 304-309.
- VANDERMEER J., PERFECTO I. (2005) : "The future of farming and conservation", *Science*, 308, 1257-1257.
- VERDU J.R., CRESPO M.B., GALANTE E. (2000) : "Conservation strategy of a nature reserve in Mediterranean ecosystems: the effects of protection from grazing on biodiversity", *Biodiversity and Conservation*, 9, 1707-1721.