

Estimer la diversité floristique des prairies des exploitations herbagères avec un modèle de simulation couplé à un indicateur “Note de biodiversité”

M. Jouven¹, P. Loiseau², D. Orth³,
A. Farruggia¹, R. Baumont¹

Dans les systèmes d'élevage herbagers, une meilleure compréhension des interactions entre pratiques, biodiversité et production est nécessaire pour identifier des pratiques contribuant à la durabilité de ces systèmes. Mais comment évaluer le niveau de diversité floristique des prairies permanentes ? Cet article propose une méthode et présente un exemple d'application.

RÉSUMÉ

Un simulateur du fonctionnement du système fourrager reproduit les interactions journalières entre conduite, troupeau et prairies ; il est couplé à un indicateur de diversité floristique (appréciée par le nombre d'espèces végétales à l'échelle de la parcelle) basé sur la fertilité du milieu et les taux d'utilisation de la production d'herbe et des épis avant floraison. Un exemple d'application pour une exploitation bovine allaitante herbagère de moyenne montagne montre que la méthode fournit des résultats cohérents avec les relevés de terrain dans une majorité de situations. Le domaine de validité est discuté. Cette approche est un premier pas utile pour étudier la biodiversité dans les systèmes d'élevage herbagers.

MOTS CLÉS

Biodiversité, élevage extensif, fertilité du sol, gestion des prairies, mode d'exploitation, modélisation, nutrition azotée, nutrition de la plante, prairie permanente, production fourragère, végétation.

KEY-WORDS

Biodiversity, extensive breeding, forage production, modelling, nitrogen nutrition, pasture management, permanent pasture, plant nutrition, soil fertility, type of management, vegetation.

AUTEURS

1 INRA, Unité de Recherches sur les Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle

2 INRA, Unité d'Agronomie, F-63039 Clermont-Ferrand cedex 2

3 ENITAC, UMR Metafort, Site de Marmilhat, F-63370 Lempdes

CORRESPONDANCE

Magali Jouven, UMR ERRC, Montpellier SupAgro, 2, place Viala, F-34060 Montpellier cedex 01 ; jouven@supagro.inra.fr

Depuis une quinzaine d'années, on observe un intérêt sociétal croissant pour le maintien de la biodiversité, aujourd'hui reconnue comme une des conditions du développement durable. Les politiques publiques prennent des mesures pour préserver des espèces et habitats à haute valeur patrimoniale (ex. zones Natura 2000) mais aussi une diversité d'espèces dans les milieux "ordinaires" exploités par l'agriculture (Stratégie Nationale pour la Biodiversité, 2004). Parmi les milieux ordinaires, les prairies permanentes présentent un intérêt particulier car elles rassemblent de nombreuses espèces et couvrent de larges surfaces en France, constituant ainsi un réservoir considérable de biodiversité.

Dans les zones herbagères, les systèmes d'élevage traditionnels, comme les systèmes allaitants basés sur les prairies permanentes, ont créé et entretiennent la diversité actuelle des prairies (BALDOCK, 1999). Celle-ci peut être étudiée à l'échelle de la parcelle (unité de gestion) ou à l'échelle de l'exploitation (unité de production). Aux deux échelles, la biodiversité est influencée d'abord par le type de sol et la fertilité (PLANTUREUX, 1996) et ensuite par la conduite des prairies (revue de PLANTUREUX *et al.*, 2005a).

De nombreuses mesures agri-environnementales visant à préserver la biodiversité ont été basées sur l'application à l'échelle de la parcelle de pratiques supposées favorables à la biodiversité (POUX et ZAKEOSSIAN, 2003). En raison de la difficulté de réaliser des protocoles adéquats à l'échelle de l'exploitation, la plupart des travaux de recherche visant à évaluer l'impact des mesures agri-environnementales n'ont pas abouti à des résultats fiables (KLEJN et SUTHERLAND, 2003).

Il semble important aujourd'hui de **mieux comprendre les interactions entre pratiques, biodiversité et production dans les systèmes d'élevage herbagers**, pour fournir des bases de discussion entre chercheurs et partenaires de terrain. Dans ce but, nous proposons **une approche couplant un modèle du système d'élevage bovin allaitant herbager**, qui simule les variations de l'utilisation par la fauche et par le pâturage de l'herbe produite sur les parcelles, **avec un indicateur traduisant ces sorties** du simulateur **en niveau de diversité floristique**. Le recours à la simulation permet i) d'aborder facilement l'échelle de l'exploitation, ii) d'explorer une large gamme de conduites et iii) de disposer de mesures précises de la production de l'exploitation et de la dynamique d'utilisation des prairies.

Dans cet article, nous nous concentrerons sur la diversité floristique des prairies, c'est-à-dire le nombre d'espèces végétales, en excluant ainsi des critères de rareté (valeur patrimoniale), de diversité biologique, écologique ou fonctionnelle. Nous nous focaliserons sur les espèces herbacées, laissant de côté les ligneux et les éléments fixes du paysage (haies, talus, murets, mares...).

1. La diversité floristique d'une exploitation herbagère

■ Production et diversité floristique : des objectifs souvent contradictoires

Des méta-analyses de données bibliographiques regroupant une grande diversité de prairies montrent que la diversité floristique suit une courbe quadratique (c.a.d. "en cloche") vis-à-vis de la production, que celle-ci soit mesurée par le rendement économique à l'échelle de la parcelle (HODGSON *et al.*, 2005) ou par le flux annuel d'énergie aux échelles de la parcelle et du paysage (MITTELBACH *et al.*, 2001). La courbe quadratique indique que **la biodiversité croît dans un premier temps avec la production, puis décroît lorsque celle-ci continue d'augmenter**. Il n'est donc pas possible de maximiser conjointement diversité floristique et production.

Des études régionales suggèrent une action défavorable des techniques d'intensification (fertilisation, prélèvements importants par fauche ou pâturage) sur la diversité floristique des prairies permanentes (Plateau lorrain : PLANTUREUX, 1996 ; Pyrénées : BALENT *et al.*, 1998 ; Massif central : FARRUGGIA *et al.*, 2006). Dans la plupart des situations agricoles en France, on se situe donc dans la zone "descendante" des courbes en cloche mentionnées ci-dessus. Cependant, dans le cas plus rare de prairies sur sols très pauvres ou fortement sous-exploitées, l'intensification peut augmenter le niveau de diversité floristique (revue de PLANTUREUX *et al.*, 2005a).

■ Intérêts de la diversité floristique des prairies pour les systèmes herbagers

Dans des systèmes d'élevage peu intensifiés basés sur des prairies permanentes, la diversité floristique peut **permettre une production fourragère régulière, de qualité, et augmenter la valeur touristique du paysage** (revue de HOPKINS et HOLTZ, 2005). Des expériences avec des assemblages d'espèces montrent que la diversité des espèces et leurs complémentarités biologiques assurent conjointement une meilleure exploitation des ressources du milieu (HECTOR *et al.*, 1999 ; POKORNY *et al.*, 2005) et une meilleure résistance de la production d'herbe aux aléas climatiques (CALDEIRA *et al.*, 2005). Au pâturage, une prairie diversifiée peut assurer une alimentation de qualité aux herbivores, dans la mesure où ils pourront sélectionner les éléments de meilleure valeur alimentaire (O'REGAIN et SCHWARZ, 1995 ; DUMONT *et al.*, 2001). Plusieurs travaux expérimentaux menés au pâturage (GINANE *et al.*, 2002 ; AGREIL, 2003 ; CORTES *et al.*, 2006) ont mis en évidence que la diversité végétale peut stimuler la motivation à ingérer des animaux, ce qui se traduit par un accroissement du temps de pâturage et des quantités ingérées. A l'échelle de l'exploitation, la diversité des prairies peut améliorer l'autonomie fourragère (ANDRIEU *et al.*, 2007) et réduire les aléas de production entre années (SCHLAPFER *et al.*, 2002). La diversité floristique des prairies permanentes n'a pas qu'un intérêt écologique : des recherches sont en cours pour établir

des liens entre types de prairies et qualités sensorielles et nutritionnelles des produits laitiers (COULON et PRIOLO, 2002 ; LECONTE et al., 2004 ; MARTIN et al., 2004).

■ Echelles d'appréciation et mesures de la diversité floristique d'une exploitation

La diversité floristique peut être mesurée à plusieurs échelles (figure 1). On peut mesurer soit le nombre d'espèces présentes, aux échelles du faciès de végétation (zone de végétation homogène au sein de la parcelle), de la parcelle ou de l'exploitation, soit le contraste entre faciès au sein d'une parcelle, ou entre parcelles au sein d'une exploitation. Dans notre étude, **nous nous sommes concentrés sur la mesure du nombre d'espèces. Nous avons considéré les échelles de l'exploitation et de la parcelle**, pour pouvoir repérer d'éventuelles discordances telle une chute de la diversité floristique sur une parcelle alors que la diversité à l'exploitation augmente (VAN DER WERF et PETT, 2002).

Les mesures directes de diversité floristique sont longues à réaliser ; c'est pourquoi on a souvent recours à des indicateurs. PEETERS et al. (2004) distinguent : **des indicateurs d'état** mesurant des variables directement corrélées à la biodiversité (ex : abondance d'espèces rares ou indicatrices) et des indicateurs indirects, qui mesurent l'intensité des facteurs agissant sur la biodiversité et sont par conséquent plus faciles et rapides à estimer. **Les indicateurs indirects consistent souvent en des indicateurs de pratiques** (BRABAND et al., 2003). Pour les systèmes herbagers, il peut s'agir par exemple du mode ou de la fréquence d'utilisation des prairies (PERVANÇON et al., 2002). Les pratiques de défoliation de la prairie agissent sur la production fourragère et la diversité floristique en modifiant : i) l'accès à la lumière par le maintien de couverts ras par fauche ou pâturage, ii) les possibilités de reproduction sexuée par une exploitation des couverts favorisant l'ablation des épis (exploitation précoce, pâturage ras...). Des pratiques de fertilisation

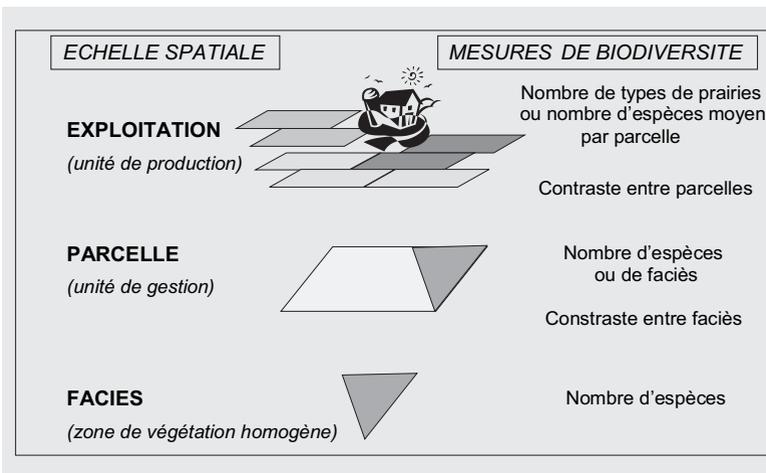


FIGURE 1 : Echelles d'appréciation de la diversité floristique dans un système d'élevage herbager.

FIGURE 1 : Scales of assessment of the floristic diversity in a grassland-based livestock farming system.

répétées agissent en modifiant les ressources du milieu. La principale limite des indicateurs indirects réside dans la validité des hypothèses reliant les pratiques à la biodiversité (BROUWER, 1999). De plus, ces indicateurs sont souvent “site-spécifiques”, c’est-à-dire difficilement transposables entre régions ou pays (BÜCHS, 2003).

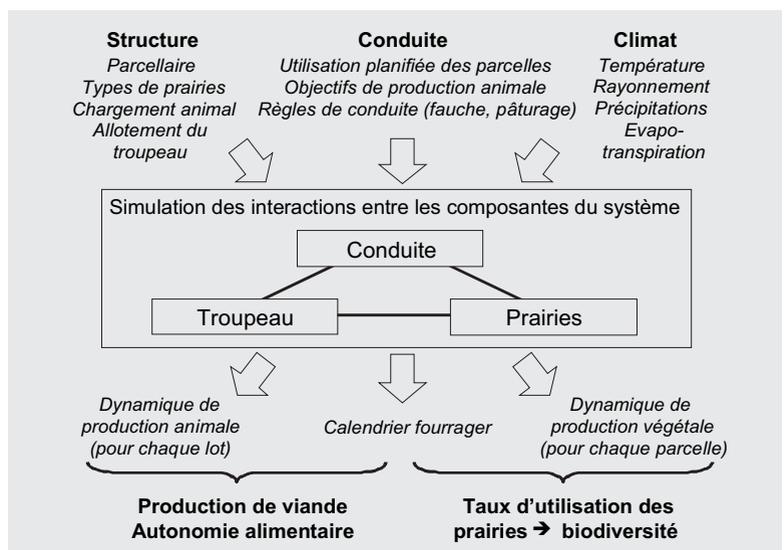
Pour évaluer rapidement la biodiversité d’une exploitation herbagère, on dispose aujourd’hui de quelques outils (SRVA, 2002, en Suisse ; ORTH *et al.*, 2004, en France) basés sur des indicateurs visuels simples (couleurs, formes) applicables aux échelles du faciès et de la parcelle. On dispose également de typologies de prairies, conçues au départ sur des critères agronomiques comme des outils d’aide au conseil technique et enrichies aujourd’hui avec des indicateurs de biodiversité issus de mesures directes (PETIT *et al.*, 2004 ; PLANTUREUX *et al.*, 2005b). Actuellement, des travaux sont en cours pour relier la composition fonctionnelle d’une prairie à sa diversité floristique.

2. Le modèle de simulation SEBIEN

La plupart des modèles existant à l’échelle de l’exploitation traitent de systèmes intensifs (laitiers, hors-sol) et visent à rechercher des conduites favorisant la production ou réduisant les pollutions. ANDRIEU *et al.* (2007) ont récemment construit un modèle de simulation des systèmes laitiers herbagers qui représente la diversité du territoire de l’exploitation en termes de types de prairies, mais sans aller jusqu’à estimer la diversité floristique de l’exploitation. Nous avons construit le modèle SEBIEN (Simulateur d’Elevages Bovins en Interaction avec l’ENvironnement ; JOUVEN *et al.*, 2005 ; JOUVEN, 2006) pour aller plus loin, en **simulant les processus biotechniques susceptibles d’agir sur la biodiversité à l’échelle de la parcelle**, et en considérant le contraste entre parcelles.

FIGURE 2 : Le modèle de simulation SEBIEN : principe général, entrées (en haut) et sorties (en bas).

FIGURE 2 : The SEBIEN simulation model : general principle, inputs (above) and results (below).



■ SEBIEN simule le fonctionnement du système fourrager d'élevages bovins allaitants herbagers

SEBIEN prévoit les interactions dynamiques entre la conduite, le troupeau et les ressources fourragères sur un pas de temps journalier. Dans le cas de simulations pluriannuelles, le troupeau est considéré en rythme de croisière. **Les entrées** de SEBIEN (figure 2) sont les objectifs de production animale et les règles de conduite du système fourrager, la composition du troupeau et des ressources fourragères, et les données climatiques journalières. Chaque parcelle de l'exploitation, supposée spatialement homogène, est caractérisée par un type de prairie décrit selon sa classe de fertilité (pauvre, moyen, riche) et le type de prélèvement (fauche ou pâture, tableau 1). A chaque type de prairie sont associés une composition fonctionnelle en graminées (établie d'après les travaux de CRUZ *et al.*, 2002, et ANSQUER *et al.*, 2004) et un indice de nutrition azotée, qui influencent la croissance de l'herbe (tableau 2). Le couvert sur chaque parcelle est réparti en 4 compartiments structurels (végétatif vert, végétatif sec, reproducteur vert, reproducteur sec) qui sont défoliés sélectivement (pâturage) ou non (fauche) au cours de l'année, en fonction de la conduite et des aléas introduits par le climat. **Les sorties** de SEBIEN (figure 2) sont le calendrier fourrager, la dynamique d'ingestion et de production animale et la dynamique de production et de consommation de l'herbe sur chaque parcelle.

Classe de fertilité	Mode d'utilisation	Code	Nb d'associations	Min* moyen	Hum** moyen	pH moyen	Nb moyen d'espèces
Pauvre	Pâture	PP	19	26	31	65	25
	Fauche	FP	1	33	47	39	22
Moyen	Pâture	PM	4	41	37	63	30
	Fauche	FM	9	46	46	60	34
Riche	Pâture	PR	4	60	61	66	18
	Fauche	FR	10	62	45	70	31

* indice des minéraux d'ELLENBERG ; pauvre : Min ≤ 35, moyen : 35 < Min < 55, riche : Min ≥ 55
 ** indice d'ELLENBERG pour l'humidité

■ SEBIEN permet d'étudier les interactions entre pratiques, production et diversité floristique du système d'élevage

Par simplicité, dans SEBIEN **chaque parcelle ne comporte qu'un faciès**. Cette hypothèse est souvent vérifiée dans des parcelles de fauche, en général planes et homogènes, mais rarement dans les parcelles exclusivement pâturées, souvent composées de plusieurs faciès (FARRUGGIA *et al.*, 2006). L'estimation de la diversité floristique parcellaire réalisée à partir des sorties de SEBIEN est donc à rapprocher des mesures de diversité floristique réalisées à l'échelle de zones de végétation homogènes, par exemple le nombre d'espèces par faciès mesuré par FARRUGGIA *et al.* (2006) ou le nombre d'espèces associé aux typologies de prairies (PLANTUREUX *et al.*, 2005b).

TABLEAU 1 : Typologie simple des prairies d'Auvergne obtenue par classement *a priori* selon une grille à deux facteurs : le mode d'utilisation et la disponibilité en azote d'après l'indice des minéraux (Min) d'Ellenberg.

TABLE 1 : *Simplified typology of the Auvergne pastures obtained by an a priori classification along 2 factors : method of utilization and nitrogen availability according to Ellenberg's mineral index (Min).*

Type de prairie	Code	Type fonctionnel* (%)				INN**	TUopt***
		A	B	C	D		
Pâtûre Pauvre	PP	0	15	20	65	0,55	0,24
Pâtûre Moyenne	PM	10	25	55	10	0,67	0,34
Fauche Moyenne	FM	15	50	25	10	0,71	0,38
Fauche Riche	FR	25	40	30	5	0,84	0,49

* composition fonctionnelle en graminées d'après les travaux de CRUZ *et al.* (2002) et ANSQUER *et al.* (2004) : A : graminées précoces, à digestibilité élevée et durée de vie des feuilles courte (ex. *Lolium perenne*) ; B : graminées à digestibilité assez élevée et durée de vie des feuilles moyenne (ex. *Dactylis glomerata*) ; C : graminées tardives, à digestibilité faible et durée de vie des feuilles longue (ex. *Agrostis capillaris*, *Festuca rubra*) ; D : graminées très tardives, à digestibilité très faible et durée de vie des feuilles très longue (ex. *Festuca ovina*)

** indice de nutrition azotée calculé à partir de l'indice Min d'ELLENBERG en appliquant la relation : $INN = 0,5 + 0,008 (\text{Min} - 20)$

*** taux d'utilisation optimum calculé à partir de l'indice Min d'ELLENBERG en appliquant la relation : $TUopt = 0,058 + 0,007 \times \text{Min}$

TABLEAU 2 : **Caractéristiques moyennes des 4 principaux types de prairie utilisées pour prévoir la dynamique de végétation dans SEBIEN (type fonctionnel et INN) et calculer la contribution des pratiques à la Note de biodiversité (taux d'utilisation optimum TUopt).**

TABLE 2 : **Mean characteristics of the 4 main types of pastures utilized for predicting the vegetation dynamics in the SEBIEN model (functional type and INN) and for the calculation of the contribution of the management practices to the 'biodiversity score' (optima utilization rate TUopt).**

Parmi les paramètres d'entrée de SEBIEN, **la fertilité du milieu** (définie à l'échelle de la parcelle) est reconnue par de nombreux auteurs (PLANTUREUX, 1996 ; PAKEMAN, 2004 ; FARRUGGIA *et al.*, 2006) comme un facteur déterminant pour la diversité floristique. Elle est d'ailleurs souvent intégrée dans les indicateurs de biodiversité (BRABAND *et al.*, 2003) soit directement à travers le type de prairie, soit indirectement à travers les pratiques de fertilisation.

En sortie, SEBIEN fournit les biomasses produites et prélevées dans les quatre compartiments structurels de chaque parcelle, et permet ainsi de **calculer le taux d'utilisation de la production d'herbe** (TU_p, rapport de la biomasse totale prélevée sur la biomasse verte produite) **et le taux d'utilisation des épis avant floraison** (TU_e, rapport des tiges et épis totaux prélevés sur les tiges et épis verts produits). TU_p est considéré par plusieurs auteurs (DURU *et al.*, 1998, 2001 ; BALENT *et al.*, 1999 ; LOUAULT *et al.*, 2005) comme une variable déterminante pour la composition floristique de la prairie. On peut faire **l'hypothèse que la diversité floristique est maximale pour des valeurs intermédiaires de TU_p** (LOISEAU *et al.*, 1998). En-dessous d'un taux d'utilisation minimum, les espèces ligneuses se développent au détriment des espèces herbacées ; si au contraire le taux d'utilisation est très élevé, les espèces annuelles envahissantes prennent l'avantage (BALENT *et al.*, 1999). TU_e est un indicateur de succès de la reproduction sexuée : un TU_e élevé correspond à des situations d'ablation précoce des épis, empêchant la reproduction sexuée qui assure la pérennité des espèces annuelles et bisannuelles (PLANTUREUX *et al.*, 2005a).

A l'échelle de l'exploitation, SEBIEN représente le contraste entre parcelles lié au milieu (à travers les types de prairie) et son amplification par des pratiques de défoliation hétérogènes entre parcelles (BALDOCK, 1999), qui résultent des différentes fonctions attribuées aux parcelles (LOISEAU, 1990 ; FLEURY *et al.*, 1995) en entrée du modèle. Le simulateur prévoit également la dynamique de production animale et végétale. SEBIEN permet donc d'analyser les causes de la diversité floristique observée, en remontant jusqu'à la dynamique de fonctionnement de l'exploitation (calendrier fourrager) et jusqu'aux phénomènes biologiques sous-jacents (croissance de l'herbe, défoliation sélective). Nous ne développerons pas ces aspects dans la suite de l'article.

3. Interprétation des sorties de SEBIEN avec un indicateur de diversité floristique

Pour modéliser la diversité floristique dans les systèmes d'élevage herbagers, nous avons construit d'une part une typologie simple des prairies pour définir les entrées de SEBIEN (tableau 1), et d'autre part **un indicateur appelé "Note de biodiversité"** permettant d'interpréter les taux d'utilisation prévus par SEBIEN en termes de niveau de réalisation du potentiel floristique.

La Note de biodiversité est **basée sur l'hypothèse écologique du stress intermédiaire** (GRIME, 1973). Celle-ci veut que la diversité floristique soit faible aux valeurs extrêmes des facteurs agronomiques : d'une part peu d'espèces sont capables de supporter des niveaux de stress élevés, d'autre part, en l'absence de stress, certaines espèces très compétitives entraînent la disparition d'espèces moins compétitives. Ainsi, la diversité est maximale pour des niveaux médians des facteurs agronomiques, qu'ils soient liés au milieu (fertilité, humidité, acidité, climat...) ou aux pratiques (taux d'utilisation, fréquence d'utilisation...).

■ La base de données utilisée regroupe 47 associations prairiales d'Auvergne

Pour établir la typologie et la Note de biodiversité, nous nous sommes appuyés sur une base de données des associations végétales des prairies d'Auvergne (ORTH *et al.*, 2004) élaborée notamment à partir de la synthèse phytosociologique de BILLY (2000) (plus de 1 000 relevés au total). Une association rend compte de la composition floristique typique, à l'échelle d'un faciès, pour des conditions de milieu données. La composition botanique de chaque association enregistrée dans la base de données est définie par les espèces présentes dans au moins 40% des relevés réalisés à l'échelle du faciès pour cette association (5 à 20 relevés par association). Nous avons retenu le nombre de ces espèces comme critère de diversité floristique. Parmi les 81 associations de la base de données Auvergne, nous avons retenu pour nos analyses les 47 associations les plus représentatives des prairies permanentes exploitées et fréquemment rencontrées dans la région. Nous avons exclu les associations de bordure de parcelle ou de chemin, dont la composition peut dépendre d'effets "de bord" indépendants des pratiques agricoles.

Grâce à la base de données, **nous disposons pour chaque association du mode d'utilisation** (fauche et pâture - au moins une coupe, régulièrement - ou pâture seule), **du nombre d'espèces, de l'altitude** moyenne où l'association a été rencontrée, **de la composition en espèces et pour chaque espèce des indices d'Ellenberg** (ELLENBERG *et al.*, 1992). Ces indices sont basés sur l'attribution d'une valeur (sur une échelle discrète allant généralement de 1 à 9) qui indique la relation de l'espèce à la variable du milieu ; ils sont issus de l'observation des profils écologiques d'espèces et d'expertise. Une valeur élevée indique que l'espèce a des

exigences élevées pour le critère considéré. Dans la mesure où la composition de la prairie est à l'équilibre avec le milieu, on peut utiliser les indices d'Ellenberg pour estimer les caractéristiques du milieu, en réalisant une moyenne pondérée des indices spécifiques (ramenée à un pourcentage). Parmi ces indices, nous avons retenu **l'indice pour les minéraux** (Min) qui concerne l'azote (NO_3 et NH_4) car, dans notre base de données, c'était la variable expliquant le mieux le nombre d'espèces ; c'est de plus une mesure de la fertilité du milieu, qui est un paramètre d'entrée de SEBIEN (utilisé pour simuler la croissance de l'herbe).

■ Une note permise par le milieu et une contribution des pratiques de défoliation

La Note de biodiversité (NoteBdv) est basée sur l'hypothèse, conforme à la bibliographie, que la fertilité (résultant du type de sol et de pratiques de fertilisation répétées) est le facteur du milieu permettant le mieux d'expliquer la diversité floristique, suivi par les pratiques de défoliation. **La Note de biodiversité se décompose ainsi en une note permise par le milieu** (NoteMil) calculée en fonction de l'indice d'Ellenberg pour les minéraux (Min) **et une contribution** (positive ou négative) **des pratiques de défoliation** ($\Delta\text{NotePrat}$). L'amplitude de $\Delta\text{NotePrat}$ est **fonction de la fertilité du milieu**, car il a été montré que l'impact des pratiques de défoliation varie en fonction de la productivité du milieu (PAKEMAN, 2004).

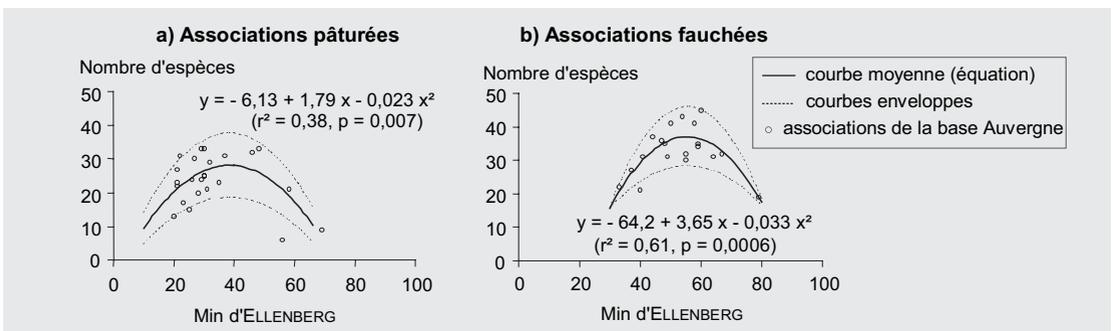
$$\text{NoteBdv} = \text{NoteMil} + \Delta\text{NotePrat}, \text{ avec } \Delta\text{NotePrat} >0 \text{ ou } <0$$

FIGURE 3 : Relation entre l'indice minéral d'Ellenberg et le nombre d'espèces dans la base de données de prairies d'Auvergne.

FIGURE 3 : Relationship between Ellenberg's mineral index and the number of species in the data base from the pastures of Auvergne.

■ La note permise par le milieu est maximale à des valeurs de fertilité intermédiaires

Pour déterminer NoteMil, nous avons positionné les 47 associations de la base de données en fonction de leur Min et de leur diversité floristique. Ensuite, nous avons ajusté aux points obtenus des courbes quadratiques (courbes "en cloche"), en séparant les associations fauchées et les associations pâturées pour tenir compte des interactions type de défoliation x milieu (figure 3). Le choix d'imposer des courbes quadratiques nous a semblé cohérent par rapport aux théories écologiques (GRIME, 1973).



Dans les courbes obtenues, **le maximum de diversité floristique est plus élevé en fauche qu'en pâture**. Ceci peut être expliqué par le fait que l'échelle considérée (le faciès), la méthode de mesure (comptage du nombre d'espèces dans une aire minimale, c'est-à-dire une surface homogène du point de vue écologique, structural et floristique ; en prairie, c'est de l'ordre de 25-50 m²) et le traitement des données (seules les espèces présentes dans au moins 40% des relevés de faciès réalisés pour cette association sont considérées) gommant les effets positifs de l'hétérogénéité des pâtures sur la diversité floristique. Les résultats de FARRUGGIA *et al.* (2006) suggèrent en effet que **le plus grand nombre d'espèces habituellement rencontré dans les parcelles pâturées** par rapport aux parcelles fauchées **est lié à la présence de plusieurs faciès dans les pâtures**. Cette hétérogénéité spatiale intra-parcellaire est due à la délimitation des parcelles sur des zones hétérogènes en termes de milieu (pente, profondeur et nature du sol, exposition...) et aux défoliations et déjections spatialisées des herbivores.

Ces considérations nous ont incités à **définir notre Note de biodiversité comme un indicateur du niveau de réalisation du potentiel floristique dans une parcelle homogène** (un faciès), que nous avons défini comme la diversité maximale observable pour un type d'utilisation donné.

Le sommet des courbes de régression, correspondant au potentiel floristique, est atteint pour Min = 40 en pâture et Min = 55 en fauche. Si la partie descendante des courbes, qui indique une diminution de la diversité floristique lorsque la fertilité ou la fertilisation augmentent, est communément admise (voir partie 1), la partie ascendante nécessite quelques précisions. Les associations pâturées de milieu très pauvre (Min < 25), qui déterminent la partie ascendante de la figure 3a, correspondent à des sols très superficiels (buttes granitiques, coteaux calcaires). ORTH (comm. pers.) a bien constaté sur coteaux calcaires ou sur buttes granitiques qu'une intensification augmentait la diversité floristique en levant des contraintes fortes du milieu. Les associations fauchées de milieu pauvre (Min < 45), qui déterminent la partie ascendante de la figure 3b, correspondent à des sols acides soit en altitude (> 1 200m) avec une espèce dominante, soit en zone humide. L'acidité du sol et Min étant fortement corrélés parmi les associations fauchées de la base (corr. 0,73, avec P = 0,0003), à des niveaux de fertilité plus élevés la contrainte d'acidité est levée et le potentiel floristique s'exprime.

■ L'effet des défoliations aussi est maximal à des valeurs de fertilité intermédiaires

Par hypothèse, nous avons considéré que la variance non expliquée par la courbe de régression, et délimitée par les courbes enveloppe (pointillés de la figure 3), correspondait à l'effet des pratiques de défoliation. Nous avons construit les courbes enveloppe de manière à conserver l'allure quadratique de l'ensemble et à mettre en avant l'impact prépondérant de la nutrition minérale dans les milieux extrêmes. Nous avons ainsi fait **deux hypothèses** : 1) la variabilité de la diversité floristique est maximale dans des milieux

moyennement productifs, et 2) les pratiques de défoliation ont moins d'impact sur le nombre d'espèces en valeur absolue dans les milieux très pauvres ou très riches que dans les milieux intermédiaires.

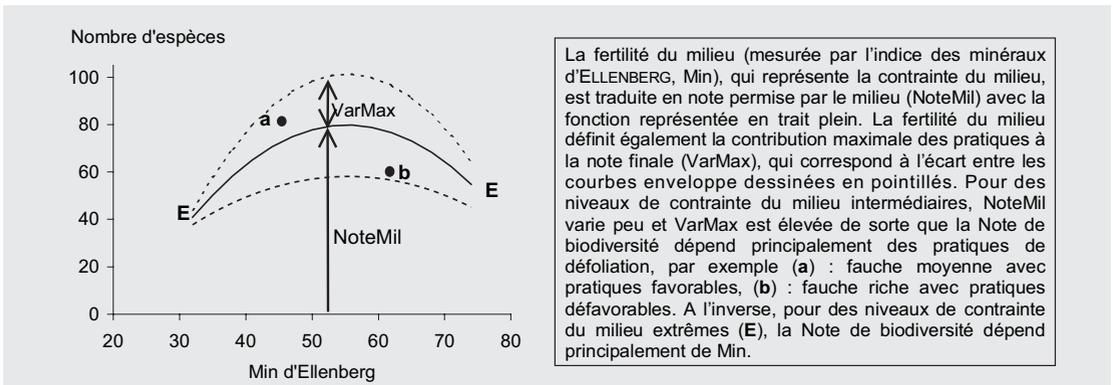
La première hypothèse est cohérente avec l'analyse statistique sur données bibliographiques de HODGSON *et al.* (2005) qui relèvent une variabilité maximale de la diversité floristique à des niveaux de productivité intermédiaire. La deuxième hypothèse est une interprétation de ces résultats, qui implique une variation absolue faible (mais une variation relative élevée) de la diversité floristique dans les milieux extrêmes. Dans le cas des milieux très riches, peu représentés dans notre échantillon, **cette hypothèse est discutable** : certains auteurs (PROULX et MAZMUNDER, 1998) observent une réponse aux pratiques de défoliation plus variable dans les milieux riches que dans les milieux pauvres. Néanmoins, nous avons préféré garder des courbes symétriques car les milieux très riches sélectionnent un faible nombre d'espèces toutes très compétitives. L'augmentation de la diversité floristique dans ces milieux est donc fortement subordonnée aux possibilités de recrutement de nouvelles espèces et au risque d'envahissement par des espèces indésirables, phénomènes que notre modèle ne prend pas en compte.

L'effet des pratiques de défoliation est ainsi compris entre 0 et \pm VarMax, VarMax étant l'écart entre la courbe de régression et les courbes enveloppe (figure 4). Pour estimer la contribution des pratiques (Δ NotePrat), nous avons construit une fonction des taux d'utilisation comprise entre -1 et +1. La contribution des pratiques est alors calculée comme le produit de l'effet maximal des pratiques permis par le milieu (VarMax) et d'une valeur comprise entre -1 et +1. Ainsi, la valeur finale de la Note de biodiversité est située entre les courbes enveloppe de la figure 4.

FIGURE 4 : Construction de l'indicateur Note de biodiversité (schéma issu de la figure 3b)

FIGURE 4 : Construction of the 'biodiversity score' indicator (diagram based on figure 3b).

Nous avons **supposé un effet quadratique de TU_p sur la diversité floristique** : pour un niveau de fertilité donné, l'effet positif est maximal quand la prairie est utilisée à un taux "optimal" (TU_{opt}). TU_{opt} correspond au taux d'utilisation permettant d'exprimer au mieux la diversité floristique pour un milieu donné (donc un Min donné). Si la prairie est sur ou sous-utilisée par rapport au potentiel permis par le milieu, la fonction de TU_p diminuera la Note de biodiversité. La figure 5a présente les courbes $f(TU_p)$ pour les trois



types de pâtures décrits au tableau 1. Les valeurs de TU_{opt} pour les types de prairie utilisés sont données tableau 2. Nous avons également supposé un effet quadratique de TUe sur la diversité floristique, avec un effet positif maximal pour $TUe = 0$ (pas de défoliation du matériel épié avant floraison) et un effet négatif maximal pour $TUe = 1$ (défoliation de tout le matériel épié avant floraison) (figure 5b). Nous avons enfin utilisé la moyenne de $f(TUp)$ et $f(TUe)$ pour calculer la contribution des pratiques. En faisant cela, nous avons supposé que les deux taux d'utilisation avaient des effets indépendants et de même amplitude. Cette hypothèse est en partie vérifiée dans la mesure où TUp agit principalement en modifiant la compétition pour la lumière entre espèces herbacées, et TUe agit sur le taux de réussite de la reproduction sexuée. Au final, nous avons :

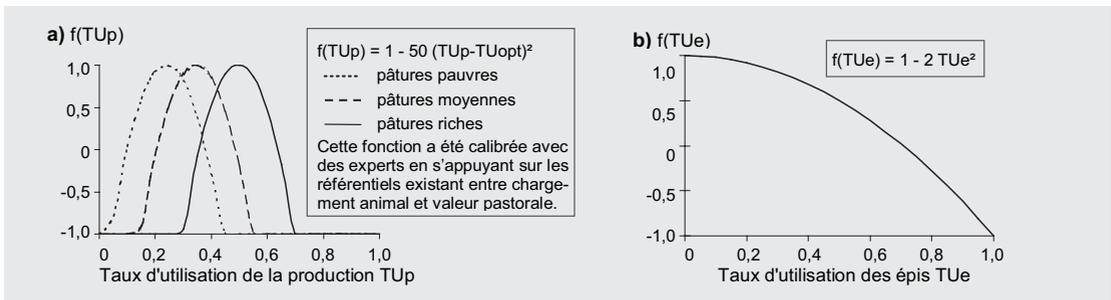
$$\text{NoteBdv} = \text{NoteMil} + \text{VarMax} \times 0,5 [f(TUp) + f(TUe)]$$

avec $f(TUp)$ et $f(TUe)$ comprises entre -1 et +1

Pour évaluer la réalisation du potentiel floristique, nous avons ramené par homothétie les relations de la figure 3 entre 0 et 100, séparément pour les fauches et les pâtures. Une Note de biodiversité de 100 correspond au sommet des courbes enveloppe "hautes" et est atteinte lorsque fertilité et pratiques sont toutes deux optimales pour la diversité floristique. Si au moins l'un des facteurs est sub-optimal, la Note de biodiversité est inférieure à 100 (figure 4).

FIGURE 5 : Fonctions théoriques des taux d'utilisation permettant de calculer la contribution des pratiques dans l'indicateur Note de biodiversité. a) Fonction du taux d'utilisation de la production (TUp), b) Fonction du taux d'utilisation des épis avant floraison (TUe)

FIGURE 5 : Theoretical functions of the utilization rates for the calculation of the contribution of the management practices to the 'biodiversity score' indicator. a) Function of the utilization rate of the herbage production (TUp), b) Function of the utilization rate of the heads before flowering (TUe).



4. Mise en situation dans les élevages herbagers

■ Exemple de simulation d'un élevage type

Pour une série de 8 années climatiques consécutives (1995-2002) provenant de la station de Marcenat (Cantal, 1 100 m d'altitude), nous avons simulé avec SEBIEN un élevage virtuel inspiré du **cas type "naisseur strict, vaches allaitantes Salers conduites en croisement"** (BV10) des Réseaux d'élevage Haute-Auvergne et Lozère (Institut de l'Élevage, 2004). Simuler plusieurs années consécutives nous a permis d'établir l'utilisation moyenne de chaque parcelle à moyen terme, en gommant les effets d'aléas climatiques ponctuels.

Les ressources de **l'exploitation simplifiée simulée** sont constituées de 30 ha répartis en 15 parcelles homogènes (1 faciès) de 2 ha : 3 fauches riches (FR), 4 fauches moyennes (FM), 5 pâtures moyennes (PM) et 3 pâtures pauvres (PP), selon les types définis

tableau 1. Le troupeau est constitué d'un lot de 26 vaches suitées de 700 kg, vêlant le 15 février, et d'un lot de 10 génisses (chargement 1,1 UGB/ha). La structure de l'exploitation et la conduite des surfaces sont raisonnées de manière à équilibrer la production : autonomie fourragère, pas de vente de foin, toutes les parcelles utilisées, production animale économe en concentré.

La **conduite du système fourrager modélisé** s'appuie sur une diversité de modes et d'intensités d'utilisation, en cohérence avec les types de prairie. SEBIEN prévoit que les prairies FR fournissent 8,3 t MS/ha de fourrages avec 2 coupes et 126 UGB.j de pâturage. Les prairies moyennement fertiles en fournissent 4,5 à 4,7 t MS/ha avec 1 coupe et 90 UGB.j de pâturage (132 en présence de déprimage) pour les FM, et 328 UGB.j de pâturage pour les PM. Les prairies pauvres fournissent 1,5 t MS/ha de fourrages avec une exploitation extensive de seulement 119 UGB.j de pâturage. Les prévisions de SEBIEN en termes d'utilisation moyenne des types de parcelle sur les 8 années simulées, et leur traitement par la Note de biodiversité, sont donnés au tableau 3.

Type de prairie*	Conduite	Fertilité (Min)	NoteMil **	TUp **	TUe **	ΔnotePrat **	NoteBdv **
FR	2 fauches + pâturage vaches	62	76	0,57	0,71	7	84
FM	1 fauche + pâturage vaches	46	74	0,39	0,61	12	86
FM	Déprimage + fauche tardive + pâturage vaches	46	74	0,36	0,00	18	92
PM	Pâturage vaches	41	75	0,41	0,31	20	95
PP	Pâturage génisses	26	66	0,22	0,24	21	87

* Les sigles des types de prairie font référence aux sigles définis au tableau 1
 ** NoteBdv = NoteMil (fonction de la fertilité mesurée par l'indice Min d'ELLENBERG) + ΔNotePrat (fonction du taux d'utilisation de la production TUp et du taux d'utilisation des épis TUe)

TABLEAU 3 : **Taux d'utilisation moyens prévus par SEBIEN et traduction en indicateur Note de biodiversité (NoteBdv)** pour des parcelles-type d'un élevage allaitant herbager.

TABLE 3 : *Mean utilization rates predicted by the SEBIEN model and their conversion into a 'biodiversity score' (NoteBdv) for typical field plots in a grassland-based beef suckler farm.*

Avec la conduite raisonnée simulée, les pratiques de défoliation contribuent favorablement à l'expression de la diversité floristique : +7 points (pour les FR avec 2 coupes et pâturage) à +21 points soit jusqu'à +30% (pour les PP à génisses) par rapport à la note permise par le milieu (tableau 3). Dans cet exemple, les prairies sont exploitées presque à leur taux d'utilisation optimal, sauf les FR qui sont surexploitées (TUp = 0,57 > TUopt = 0,49). Si l'on exclut les PP, les écarts de Notes de biodiversité entre prairies sont principalement dus à des différences de taux d'utilisation des épis (0 à 71%). La note la plus faible (84/100) revient aux FR, pour lesquelles les pratiques de défoliation sont le moins favorables. A l'inverse, la note la plus élevée (95/100) revient aux PM, dont la fertilité n'est pas limitante pour la Note de biodiversité et qui bénéficient d'un faible taux d'utilisation des épis avant floraison. La fauche tardive (après floraison) améliore la Note de biodiversité de +6,0 points par rapport à une fauche normale, en limitant le taux d'utilisation des épis avant floraison et, dans une moindre mesure, le taux d'utilisation de la production.

■ Comparaison avec des observations de terrain

Les résultats de la simulation présentée semblent **dans l'ensemble cohérents** par rapport **aux valeurs de diversité floristique données dans les typologies de prairies** : les fauches

exploitées tardivement présentent une Note de biodiversité plus élevée que les fauches exploitées précocement (cohérent avec FLEURY *et al.*, 1988 actualisé en 1997, et PLANTUREUX *et al.*, 2005b) ; les fauches “intensives” sont moins diverses que les fauches “extensives” (cohérent avec PLANTUREUX *et al.*, 2005b). Avec notre indicateur basé sur la réalisation du potentiel floristique (= maximum de diversité pour un type d'utilisation donné), **les pâtures ont une Note de biodiversité plus élevée que les fauches, sauf en cas de première coupe tardive**. Ces résultats, inversés par rapport à ce que peut laisser penser la figure 3, proviennent d'une part de la suppression des effets de l'hétérogénéité intraparcellaire en prenant une base de 0 à 100 pour les fauches et les pâtures et, d'autre part, du fait que les défoliations simulées sont très favorables pour les pâtures, et peu ou pas favorables pour les fauches.

Le modèle prévoit une Note de biodiversité faible pour les pâtures pauvres, alors que la plupart des auteurs s'accordent sur le fait que les pâtures pauvres présentent une forte diversité floristique. Notre résultat est sans doute lié à l'extrême pauvreté du type “pâturage pauvre” construit à partir de la base de données. Bien que fréquemment rencontrées en Auvergne, de telles prairies sont utilisées marginalement dans les exploitations bovines ; les “prairies pauvres” auxquelles il est fait couramment référence se rapprocheraient alors plutôt des “prairies moyennes” du tableau 1.

Les quatre types de prairie simulés sont caractérisés par un niveau de fertilité intermédiaire parmi ceux représentés dans la base de données Auvergne. On se situe donc près du sommet des courbes de la figure 3 : la Note de biodiversité permise par le milieu, mais aussi la contribution potentielle des pratiques à la diversité floristique, sont élevées. **Dans ces conditions “habituelles”, notre modèle suggère que les pratiques de défoliation jouent un rôle très marqué**. En particulier, l'occurrence de pratiques favorables sur des prairies peu fertiles (pâturage à faible chargement permettant le développement des épis) et de pratiques défavorables sur des prairies fertiles (utilisation précoce et intensive) pourrait expliquer la relation faiblement négative entre fertilité et diversité floristique habituellement observée sur le terrain (FARRUGGIA *et al.*, 2006 ; ORTH *et al.*, non publié).

Conclusion et perspectives

Les interactions pratiques x milieu, dont on ne peut s'affranchir en situations réelles, rendent difficile la définition de pratiques favorables à des compromis production - biodiversité à partir de mesures de terrain (PAKEMAN, 2004). Dans cet article, nous avons décrit une méthode basée sur le couplage d'un simulateur à l'échelle de l'exploitation et d'un indicateur de diversité floristique à l'échelle de la parcelle, qui lève en partie cette difficulté. En effet, elle permet de :

- retrouver des résultats cohérents avec des observations de terrain, ce qui procure une base commune pour le dialogue entre chercheurs et partenaires de terrain ;

- proposer une analyse de ces résultats en distinguant les facteurs du milieu des pratiques de défoliation, et apporter ainsi des éléments de compréhension des observations de terrain ;

- explorer des situations non existantes dans un contexte de production grâce à la simulation à l'échelle de l'exploitation, et apporter ainsi des éléments de discussion pour proposer de nouvelles pratiques aux éleveurs.

Les résultats issus du traitement par l'indicateur Note de biodiversité doivent cependant être interprétés avec précaution car notre indicateur i) a été construit à partir d'une base de données particulière aux prairies d'Auvergne, et comportant des prairies très pauvres, ii) est basé sur des relations empiriques et des indices utiles mais comportant une part d'expertise (indices d'Ellenberg) et iii) ne prend pas en compte l'hétérogénéité intra-parcellaire qui est en grande partie responsable du niveau élevé de diversité floristique observé dans les parcelles pâturées.

Le principe d'un indicateur de diversité floristique basé sur les taux d'utilisation du couvert et le niveau de nutrition minérale est original, et mériterait d'être validé et étendu en utilisant d'autres bases de données. Néanmoins, le couplage que nous proposons entre un modèle de simulation et un indicateur de biodiversité peut fournir des bases de réflexion et de discussion pour définir des objectifs et des moyens de gestion de la diversité floristique dans les exploitations herbagères.

Accepté pour publication,
le 24 août 2007.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGREIL C. (2003) : *Pâturage et conservation des milieux naturels. Une approche fonctionnelle visant à qualifier les aliments à partir d'une analyse du comportement d'ingestion chez la brebis*, thèse de Doctorat à l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, 361 pp.
- ANDRIEU N., POIX C., JOSIEN E., DURU M. (2007) : "Simulation of land use strategies taking into account the diversity of the farmland. Example of livestock dairy farms in Auvergne", *Electronic and Computers in Agriculture*, 55, 36-48.
- ANSQUER P., THEAU J.P., CRUZ P., VIEGAS J., AL HAJ KHALED R., DURU M. (2004) : "Caractérisation de la diversité fonctionnelle des prairies naturelles. Une étape vers la construction d'outils pour gérer les milieux à flore complexe", *Fourrages*, 179, 353-368.
- BALDOCK D. (1999) : "Indicators for High nature value farming systems in Europe", *Environmental indicators and agricultural policy*, CAB International.
- BALENT G., ALARD D., BLANFORT V., GIBON A. (1998) : "Activités de pâturage, paysages et biodiversité", *Annales de Zootechnie*, 47, 419-429.
- BALENT G., ALARD D., BLANFORT V., POUDEVIGNE I. (1999) : "Pratiques de gestion, biodiversité floristique et durabilité des prairies", *Fourrages*, 160, 385-402.
- BILLY F. (2000) : "Prairies et pâturages en Basse-Auvergne", *Bull. Soc. Bot. du Centre-Ouest*, 20, 1-259.
- BRABAND D., GEIER U., KÖPKE U. (2003) : "Bio-resource evaluation within agri-environmental assessment tools in different European countries", *Agriculture Ecosystems and Environment*, 98, 423-434.

- BROUWER F. (1999) : "Agri-environmental Indicators in the European Union : Policy requirements and data availability", *Environmental indicators and agricultural policy*, CAB International.
- BÜCHS W. (2003) : "Biotic indicators for biodiversity and sustainable agriculture - introduction and background", *Agriculture Ecosystems and Environment*, 98, 1-16.
- CALDEIRA M.C., HECTOR A., LOREAU M., PEREIRA J.S. (2005) : "Species richness, temporal variability and resistance of biomass production in a Mediterranean grassland", *Oikos*, 110, 115-123.
- CORTES C., DAMASCENO J.C., JAMOT J., PRACHE S. (2006) "Ewes increase their intake when offered a choice of herbage species at pasture", *Animal Sci.*, 82, 183-191.
- COULON J.B., PRIOLO A. (2002) : "Influence of forage feeding on the composition and organoleptic properties of meat and dairy products: bases for a "terroir" effect", *Grassland Sci. in Europe*, 7, 513-524.
- CRUZ P., DURU M., THEROND O., THEAU J.P., DUCOURTIEUX C., JOUANY C., AL HAJ KHALED R., ANSQUER P. (2002) : "Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leur valeur d'usage", *Fourrages*, 172, 335-354.
- DUMONT B., MEURET M., BOISSY A., PETIT M. (2001) : "Le pâturage vu par l'animal : mécanismes comportementaux et applications en élevage", *Fourrages*, 166, 213-238.
- DURU M., BALENT G., GIBON A., MAGDA D., THEAU J. P., CRUZ P., JOUANY C. (1998) : "Fonctionnement et dynamique des prairies permanentes. Exemple des Pyrénées Centrales", *Fourrages*, 153, 97-113.
- DURU M., HAZARD L., JEANGROS B., MOSIMANN E. (2001) : "Fonctionnement de la prairie pâturée : structure du couvert et biodiversité", *Fourrages*, 166, 165-188.
- ELLENBERG H., WEBER H.E., DULL R., WIRTH V., WERNER W., PAULISSEN D. (1992): "Zeigerwerte von pflanzen in Mitteleuropa", *Scripta Geobotanica*, 18, 258 p.
- FARRUGGIA A., DUMONT B., JOUVEN M., BAUMONT R., LOISEAU P. (2006) : "Caractériser la diversité végétale à l'échelle de l'exploitation dans un système bovin allaitant du Massif Central", *Fourrages*, 188, 477-493.
- FLEURY P., JEANNIN B., DORIOZ J.M. (1988) : *Typologie des prairies de fauche de montagne des Alpes du Nord humides* (2ème éd.), GIS Alpes du Nord, Chambéry.
- FLEURY P., DUBOEUF B., JEANNIN B. (1995) : "Un concept pour le conseil en exploitation laitière : le fonctionnement fourrager", *Fourrages*, 141, 3-18.
- GINANE C., BAUMONT R., LASSALAS J., PETIT M. (2002) : "Feeding behaviour and intake of heifers fed on hays of various quality, offered alone or in a choice situation", *Animal Research*, 51, 177-188.
- GRIME J.P. (1973) : "Control of species diversity in herbaceous vegetation", *J. Environ. Manage.*, 1, 151-167.
- HECTOR A., SCHMID B., BEIERKUHNLIN C. et al. (1999) : "Plant diversity and productivity experiments in european grasslands", *Science*, 286, 1123-1127.
- HODGSON & coll. (31 auteurs) (2005) : "How much will it cost to save grassland diversity?" *Biological Conservation*, 122, 263-273.
- HOPKINS A., HOLTZ B. (2005) : "Grassland for agriculture and nature conservation : production, quality and multi-functionality", *Grassland Sci. in Europe*, 10, 15-29.
- Institut de l'Elevage (2004) : *Réseaux d'élevage Haute Auvergne et Lozère : cas-type bovins lait et bovins viande*, Chambres d'Agriculture - EDE 15-43-48-63.
- JOUVEN M., AGABRIEL J., CARRERE P., JOSIEN E., BAUMONT R. (2005) : "Quelles conduites des systèmes bovins allaitants herbagers pour produire en préservant les prairies ? Eléments de réponse à l'aide de la modélisation", *Rencontres Recherche Ruminants*, 12, Paris.
- 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*, thèse de doctorat à l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, 250 p.

- KLEIJN D., SUTHERLAND W. J. (2003) : "How effective are European agri-environment schemes in conserving and promoting biodiversity ?", *J. of Applied Ecology*, 40, 947-969.
- LECONTE D., SIMON J.C., STILMANT D. (2004) : "Diversité floristique des prairies permanentes normandes. Approche en cours sur les liens entre composition botanique de ces prairies et caractéristiques des laits crus dérivés", *Fourrages*, 178, 265-284.
- LOISEAU P. (1990) : "Le concept de système de culture en prairie permanente : intervention du mode d'exploitation", *Un point sur... les systèmes de culture*, Couibe L., Picard D. (coord.), INRA éditions, 127-150.
- LOISEAU P., LOUAULT F., L'HOMME G. (1998) : "Gestion des écosystèmes pâturés en situations extensives : apports de l'écologie fonctionnelle et perspectives de recherches appliquées en moyenne montagne humide", *Ann. de Zootechnie*, 47, 395-406.
- LOUAULT F., PILLAR V.D., AUFRÈRE J., GARNIER E., SOUSSANA J.F. (2005) : "Plant traits and functional types in response to reduced disturbance in a semi-natural grassland", *J. Vegetation Science*, 16, 151-160.
- MARTIN B., FEDELE V., FERLAY A., GROLIER P., ROCK E., GRUFFAT D., CHILLIARD Y. (2004) : "Effects of grass-based diets on the content of micronutrients and fatty acids in bovine and caprine dairy products", *Grassland Sci. in Europe*, 9, 876-886.
- MITTELBACH G.G., STEINER C.F., SCHEINER S.M., GROSS K.L., REYNOLDS H.L., WAIDE R.B., WILLIG M.R., DODSON S.I., GOUGH L. (2001) : "What is the observed relationship between species richness and productivity ?", *Ecology*, 82, 2381-2396.
- O'REGAIN P.J., SCHWARTZ J. (1995) : "Dietary selection and foraging strategies of animals on rangeland. Coping with spatial and temporal variability", *Proc. IVth Int. Symp. on the Nutrition of Herbivores*, Clermont-Ferrand.
- ORTH D., LOISEAU P., LOISNEL A., PERRIN O., BALAY O. (2004) : "Un cas d'évaluation physionomique de la biodiversité : options et questions", *Fourrages*, 179, 335-352.
- PAKEMAN R.J. (2004) : "Consistency of plant species and trait responses to grazing along a productivity gradient: a multi-site analysis", *J. of Ecology*, 92, 893-905.
- PEETERS A., MALJEAN J.F., BIALA K., BROUCKAERT V. (2004) : "Les indicateurs de biodiversité en prairie : un outil d'évaluation de la durabilité des systèmes d'élevage", *Fourrages*, 178, 217-232.
- PERVANÇON F., BAHMANI I., PLANTUREUX S., GIRARDIN P. (2002) : "A methodology to evaluate the impact of agricultural practices on grassland biodiversity", *Grassland Sci. in Europe*, 7, 830-831.
- PETIT S., VANSTEELENT J.-Y., PLAIGE V., FLEURY P. (2004) : "Les typologies des prairies, d'un outil agronomique à un objet de médiation entre agriculture et environnement", *Fourrages*, 179, 369-382.
- PLANTUREUX S. (1996) : "Biodiversité, type de sol et intensité de l'exploitation de prairies permanentes du plateau lorrain", *Acta Botanica Gallica*, 143, 339-348.
- PLANTUREUX S., PEETERS A., MCCRACKEN D. (2005a) : "Biodiversity in intensive grasslands : effect of management, improvement and challenges", *Grassland Sci. in Europe*, 10, 417-426.
- PLANTUREUX S., THORION G. (2005b) : "Combined prediction of forage production and biodiversity of permanent pastures in Vosges Mountains (France)", *Conference of the FAO-CIHEAM Sub-Network of Mountain pasture : quality production and quality of the environment in the mountain pastures of an enlarged Europe*, Udine, Italie
- POKORNY M.L., SHELEY R.L., ZABINSKI C.A., ENGEL R.E., SVEJCAR T.J., BORKOWSKI J.J. (2005) : "Plant functional group diversity as a mechanism for invasion resistance", *Restoration ecology*, 13, 448-459.
- POUX X., ZAKEOSSIAN D. (2003) : *Dispositif d'inventaire des bonnes pratiques agricoles et des pratiques agro-environnementales : comparaison européenne*, étude réalisée pour le Ministère de l'Environnement par l'AscA en collaboration avec IPEE Londres, 53 p.

- PROULX M., MAZMUNDER A. (1998) : "Reversal of grazing impact on plant species richness in nutrient-poor vs nutrient-rich ecosystems", *Ecology*, 79, 2581-2592.
- SCHLAPFER F., TUCKER M., SEIDL I. (2002) : "Returns from hay cultivation infertilized low diversity and non-fertilized high diversity grassland - An "insurance" value of grassland plant diversity ?", *Environmental and resource economics*, 21, 89-100.
- SRVA (2002) : *Qualité écologique : clés d'appréciation*, Service Romand de Vulgarisation Agricole (désormais AGRIDEA, site : <http://www.srva.ch>), Suisse.
- Stratégie Nationale Pour la Biodiversité (2004) : Ministère Ecologie et Développement Durable, http://www.environnement.gouv.fr/actua/cominfos/dosdir/DIRNP/media/Biodiversite_complet.pdf
- VAN DER WERF H.M.G., PETIT J. (2002) : "Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level : a comparison and analysis of 12 indicator-based methods", *Agriculture Ecosystems and Environment*, 93, 131-145.

SUMMARY

Estimating floristic diversity in grassland-based farming systems with a simulation model combined with a 'biodiversity score' indicator

A better understanding of the interactions among management, biodiversity and production in grassland-based farming systems is needed in order to identify which management practices contribute best to system's sustainability. In this study, we focussed on the floristic diversity of permanent pastures, assessed by the number of species found at a field plot scale. The originality of this approach consisted in combining a simulator of the farming system which reproduces the daily interactions among management, herd and grasslands, with an indicator of the floristic diversity based on the environmental fertility and the utilization rates of the herbage and the heads before flowering. An example of application to a typical beef suckler farm shows that the predictions by our method are in more cases consistent with the corresponding field observations. The domain of validity is discussed. Our approach is a useful first step for the study of biodiversity in grassland-based systems. It will be carried on in the future and further supported by more thorough validations.