

# Quelles conduites des systèmes bovins allaitants herbagers pour produire en préservant les prairies ? Eléments de réponse à l'aide de la modélisation.

M JOUVEN (1), J. AGABRIEL (1), P. CARRERE (2), E. JOSIEN (3) et R. BAUMONT (1)

(1) INRA-URH, Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle

(2) INRA-Agronomie, 234 av. du Brézat, 63039 Clermont-Ferrand Cedex 2

(3) CEMAGREF, 24 avenue des Landais, BP 50085, 63172 Aubière Cedex

**RESUME** - Dans l'objectif d'étudier les compromis entre fonction de production et fonction d'entretien des prairies, nous avons construit un modèle biotechnique qui simule le fonctionnement journalier et la dynamique de production d'élevages bovins allaitants herbagers en fonction de leur structure et stratégie de conduite. Le modèle est constitué de 4 sous-modèles qui simulent en dynamique : 1- la production, la structure et la qualité du couvert prairial ; 2- les performances animales (production laitière et variation d'état des vaches, croissance des jeunes) ; 3- la consommation de fourrages conservés et d'aliments concentrés, l'ingestion d'herbe pâturée en quantité et en qualité selon la disponibilité et la préhensibilité de l'herbe et selon la sélectivité des animaux ; 4- la conduite des animaux et des surfaces, selon des règles de planification annuelle (usage des surfaces et conduite du troupeau) et des règles de pilotage tactique au jour le jour (gestion du pâturage, réalisation des récoltes, complémentation des animaux). Le simulateur, en cours de validation, permet d'analyser le calendrier fourrager, l'ingestion et les performances des animaux, la production de fourrages et la consommation d'aliments achetés, ainsi que quelques indicateurs d'utilisation des prairies. Nous avons testé l'impact de changements de conduite à trois niveaux : 1- chargement de l'exploitation, 2- planification de la conduite du troupeau : date de vêlage, 3- pilotage du pâturage, élément clé à la fois pour l'entretien des ressources et la production : hauteur d'herbe de sortie en pâturage tournant.

## How to manage beef cattle foraging systems in order to produce meat while preserving grasslands? A few answers using a modelling approach.

M JOUVEN (1), J. AGABRIEL (1), P. CARRERE (2), E. JOSIEN (3) and R. BAUMONT (1)

(1) INRA-URH, Theix, F-63122 Saint-Genès Champanelle

**SUMMARY** - In order to investigate the trade-offs between animal production and the preservation of grasslands, we built a model simulating farm daily operation and production dynamics for beef cattle farming systems based on grass, depending on the structure of the farm and the management strategy. The model is made of four interacting sub-models which dynamically simulate the following: 1- the production, structure and quality of the swards; 2- the animal performance (milk production and body condition of the cows, growth of the young cattle); 3- the consumption of conserved forage and concentrate feed, the quantitative and qualitative herbage intake at pasture depending on grass availability and prehensibility, and on animal selectivity; 4- the management of the herd and the plots, depending on annual planning (use of plots and herd management) and a series of tactical day-to-day management rules (grazing management, harvests, animal supplementation). The simulator, which is being validated, enables the user to analyse the forage calendar, animal intake and performance, production of forage and the consumption of bought feed, and a few indicators of grassland utilisation. We tested the influence of management changes at three levels: 1- farm stocking rate, 2- planning of herd management: calving date, 3- management rules for grazing, a key variable for both grassland preservation and animal production: sward height at turnout during rotational grazing.

## INTRODUCTION

Les systèmes d'élevage herbagers associent à la production animale un rôle d'entretien des prairies. Dans les élevages bovins allaitants basés sur l'exploitation de prairies, comme c'est le cas en moyenne montagne, les interactions troupeau - ressources herbagères sont centrales et l'enjeu environnemental (maintien des paysages ouverts et de la biodiversité) est fort. La rentabilité de ces systèmes est fortement conditionnée par l'économie d'intrants (engrais, fourrages et concentré achetés). Les éleveurs doivent répondre d'une part aux demandes du marché, qui pousse à l'intensification pour avoir des bœufs plus gros, plus tôt dans la saison et d'autre part aux conditionnalités de la politique agricole commune, qui incitent à l'extensification. Actuellement, aucun simulateur en France ne permet d'évaluer, pour ces systèmes d'élevage et à l'échelle de l'exploitation, l'effet de conduites intégrant des objectifs environnementaux sur la production animale et végétale et l'état des prairies. Des simulateurs comme PATUR'IN (Delaby *et al.*, 2001) ou SEPATOU (Cros *et al.*, 2001) permettent de prévoir et moduler la gestion du pâturage, pour ajuster l'offre fourragère aux besoins de production, mais pour des vaches laitières et dans le cas de pâturages bien exploités. Le simulateur PARIS (Baumont *et al.*, 2002)

prévoit le comportement spatial et l'ingestion sélective des animaux et en retour la dynamique du couvert végétal pâturé, mais à l'échelle de petites zones de végétation ou d'une parcelle.

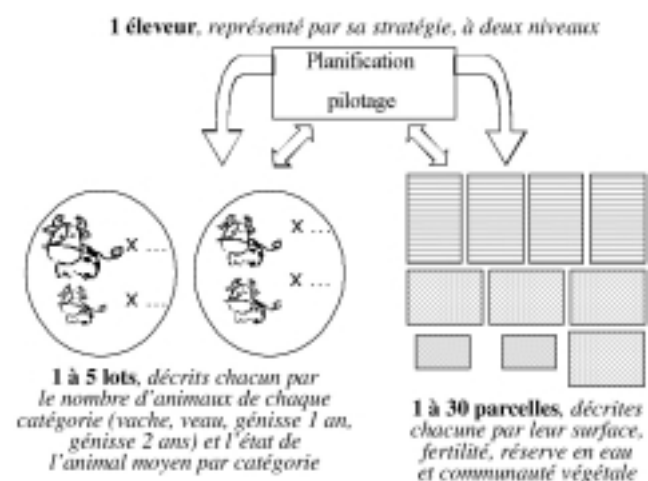
Pour comprendre les équilibres entre fonction de production et d'entretien des prairies dans les systèmes d'élevage bovins allaitants herbagers, nous construisons un modèle biotechnique de recherche (Simulateur d'Elevages Bovins en Interaction avec l'Environnement : SEBIEN) qui simule le fonctionnement journalier et la dynamique de production d'une exploitation d'élevage. Les entrées du modèle sont la structure de l'exploitation et la stratégie de conduite. Les sorties comprennent le calendrier fourrager, la production animale et végétale journalière, mais aussi des indicateurs de production et d'état des prairies. SEBIEN n'aborde pas les aspects économiques, qui font l'objet de modèles spécifiques (ex : Veysset *et al.*, 2004)

Cette communication présente le modèle conceptuel et le simulateur SEBIEN, en cours de validation. Quelques résultats issus de simulations à l'échelle de l'année pour une situation "type", puis une évaluation des effets de modifications de la conduite, dans le sens d'une intensification ou d'une extensification, sont exposés.

# 1. MODELE CONCEPTUEL DU SYSTEME D'ELEVAGE ALLAITANT DE MOYENNE MONTAGNE

Le modèle conceptuel du système d'élevage a été élaboré à partir de l'expertise de chercheurs et d'acteurs du développement (Chambre d'Agriculture Régionale d'Auvergne, Chambre d'Agriculture du Cantal) et à partir d'enquêtes auprès de quatre éleveurs allaitants du Cantal, représentatifs d'une gamme de structures d'exploitations et stratégies de conduite au sein du cas-type BV10 (Naisseur strict : vaches allaitantes Salers) des Réseaux d'Elevage (Institut de l'Elevage, 2004). Une exploitation typique de la zone étudiée est chargée à environ 1,2 UGB/ha. Elle comporte un à deux lots de vaches suitées et un à deux lots de génisses (renouvellement : 15-20 %) ; les vêlages sont centrés sur février pour exploiter au mieux la pousse de l'herbe, maximale en mai-juin. Les veaux sont vendus en broutards à l'automne. Environ la moitié de la surface est fauchée en première coupe, une petite partie en regains. Le foin est le mode de conservation dominant. Le déprimage de quelques parcelles de fauche est une pratique courante.

**Figure 1 :** représentation du système biotechnique d'une exploitation bovine allaitante herbagère



Les unités élémentaires de gestion sont le lot et la parcelle, respectivement pour le troupeau et les ressources (figure 1). Chaque lot est défini par une composition en nombre d'animaux par catégorie (vaches, veaux, génisses >1 an, génisses >2 ans) et par la performance potentielle (potentiel laitier et état à la mise-bas pour les vaches, poids à des dates clé pour les jeunes) et l'état de l'animal moyen dans chaque catégorie. Dans un souci de simplification, une même date de vêlage est appliquée pour toutes les femelles en production d'un même lot et nous ne tenons pas compte des différences de besoins et de performances liées au sexe des veaux ou à la parité des vaches. Chaque parcelle est caractérisée par sa surface, sa réserve en eau, son indice de nutrition azotée et par une communauté végétale définie par l'abondance de quatre groupes fonctionnels de graminées (Cruz *et al.*, 2002). L'éleveur est représenté par une stratégie de conduite comportant deux niveaux : planification et pilotage. Les objectifs de production animale (date de mise-bas et de vente des veaux, poids des veaux à la vente) et l'utilisation des parcelles par période (fauche, pâture, néant) sont planifiés. Les règles de pilotage portent sur la mise à l'herbe et la rentrée à l'étable, la gestion du pâturage, la fauche, l'alimentation et la complémentation des lots. En cohérence avec les pratiques observées chez les éleveurs, nous considérons que les objectifs de production animale

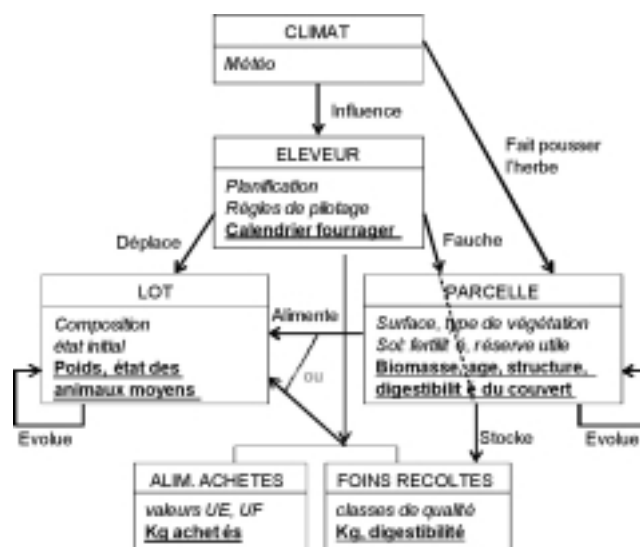
sont toujours atteints, via le recours si besoin aux intrants et aux aliments achetés (concentré, éventuellement foin). La consommation d'aliments achetés est donc un indicateur de performance globale du système. Le taux d'utilisation de l'herbe (Balent *et al.*, 1999) et du matériel reproducteur avant floraison ("épis") nous permettront d'évaluer, en fonction du type de milieu, l'état des parcelles et les effets sur leur niveau de biodiversité.

## 2. DU MODELE CONCEPTUEL AU SIMULATEUR

Pour faciliter l'utilisation du modèle et l'interprétation des sorties, nous avons opté pour un modèle mécaniste et déterministe, qui répond au climat. Dans les systèmes considérés, la dynamique de production animale et végétale est fortement liée à l'ingestion des animaux, qui elle-même dépend de la gestion du système fourrager. Pour évaluer la capacité des animaux à valoriser et entretenir des prairies permanentes hétérogènes, la structure et la qualité des couverts sont explicitées.

SEBIEN est constitué de 4 sous-modèles : 1- la végétation, adapté de Carrère *et al.*, (2002) ; 2- les performances animales, basé sur INRA (1988) ; 3- l'ingestion et l'alimentation, basé sur le système des Unités d'Encombrement complété au pâturage par un modèle original de sélectivité et de préhensibilité de l'herbe ; 4- la conduite des animaux et des surfaces, sous-modèle développé spécifiquement. Les unités en jeu et leurs interactions sont présentées dans la figure 2.

**Figure 2 :** schéma d'ensemble du modèle SEBIEN (paramètres d'entrée en italique, variables de sortie en gras, soulignées)



### 2.1. LE SOUS-MODELE DE DYNAMIQUE DE VEGETATION, APPLIQUE A LA PARCELLE

Sur chaque parcelle, le couvert végétal est subdivisé en 4 compartiments structurels : végétatif (limbes + gaines) vert, végétatif sec, reproducteur (tiges + épis) vert et reproducteur sec (Carrère *et al.*, 2002). Chaque compartiment est caractérisé par une biomasse, un âge et une digestibilité. Seule la croissance des parties aériennes est modélisée, à partir de l'efficacité photosynthétique du couvert, modulée par une fonction saisonnière rendant compte des phénomènes de mobilisation et de mise en réserve d'azote dans les organes souterrains. L'âge des compartiments est déterminé par la somme des températures positives depuis le 1<sup>er</sup> janvier et par les flux de biomasse.

L'âge stimule la sénescence et réduit la digestibilité des compartiments verts, puis affecte l'abscission du matériel sénescé. L'âge peut augmenter ou diminuer dans le temps en fonction de la croissance nette et de la dynamique de défoliation du couvert. Le modèle a été calibré pour des prairies permanentes de moyenne montagne et validé (Jouven *et al.*, soumis) sur des données expérimentales provenant des domaines expérimentaux INRA de Marcenat et des Monts Dore.

## 2.2. LE SOUS-MODELE DE PERFORMANCES ANIMALES

Le sous-modèle de performances animales, basé sur les équations INRA (1988), calcule quotidiennement les besoins et la capacité d'ingestion de la vache, du veau et/ou de la génisse moyens de chaque lot en fonction de leur état pondéral et physiologique et en retour la variation de poids/état de ces animaux moyens en fonction de l'énergie nette ingérée. Les modèles INRA ont été validés sur de longues périodes (hivernage). Dans SEBIEN, nous les appliquons en dynamique. Pour vérifier que cela ne cause pas de dérive, ces modèles sont revalidés au jour le jour avec des données expérimentales externes au modèle.

## 2.3. LE SOUS-MODELE D'ALIMENTATION ET D'INGESTION

A l'étable, le sous-modèle d'alimentation calcule, par catégorie d'animal dans chaque lot, la consommation journalière de fourrages stockés (répartis en 3 classes de qualité), de foin et de concentré achetés, pour atteindre le niveau d'alimentation et les objectifs de production animale prédéfinis en entrée du modèle par l'utilisateur.

Au pâturage, chaque lot se trouve sur une parcelle et a donc à disposition un couvert végétal de biomasse, structure et qualité définies par le modèle de végétation. Le sous-modèle d'alimentation prévoit alors l'ingestion du lot en quantité et en qualité. Le prélèvement sélectif dans les 4 compartiments structurels du couvert dépend la biomasse accessible (Delagarde *et al.*, 2001), de l'abondance et de la qualité relative de chaque compartiment végétal. L'ingéré total est réparti entre les catégories d'animaux du lot en fonction de la capacité d'ingestion de chacune.

## 2.4. LE SOUS-MODELE DE CONDUITE

La planification et les règles de pilotage, définies en entrée du modèle, gèrent selon l'état des ressources et le climat la mise à l'herbe et la rentrée à l'étable, la rotation des lots sur les parcelles, la fauche et la complémentation des animaux pour atteindre les objectifs de production. Par simplicité, la planification et les règles de pilotage sont identiques chaque année dans le cas de simulations pluriannuelles.

L'année est divisée en 5 périodes : déprimage, printemps, été, automne, hiver. L'utilisation des surfaces par période (fauche ou pâture) et les objectifs de production animale (date de mise-bas, date de vente et poids à la vente des veaux...) sont planifiés. Un ordre de priorité est établi entre lots pour le pâturage des parcelles qui ne sont pas pré-affectées à un lot en particulier. Les règles de pilotage modulent la planification en cours d'année en fonction de l'état du troupeau, des parcelles et du climat. Notamment, en cas d'excès d'herbe, des parcelles fauchables prévues pour le pâturage peuvent être fauchées et inversement les parcelles de fauche peuvent être pâturées en cas de manque d'herbe.

## 2.5. IMPLEMENTATION INFORMATIQUE DE SEBIEN

Le modèle a été implémenté avec le langage informatique Python, simple et concis, facilement accessible aux non-

spécialistes. En tant que langage objet, il confère au code une grande modularité et permet de traduire directement les entités concrètes en classes. SEBIEN comprend 6 classes biotechniques (figure 2) et une classe simulation.

## 3. EXEMPLES DE SIMULATIONS : IMPACTS DE MODIFICATIONS DE LA CONDUITE SUR LA DYNAMIQUE DE PRODUCTION

A partir de la simulation d'une situation moyenne à l'équilibre, nous avons testé l'impact, toutes choses égales par ailleurs, de changements portant sur le chargement de l'exploitation, *via* le nombre d'animaux, la conduite du troupeau (date de vêlage) et le pilotage du pâturage.

### 3.1. SIMULATION D'UN ELEVAGE BOVIN ALLAITANT "MOYEN" PRODUISANT DES VEAUX SALERS

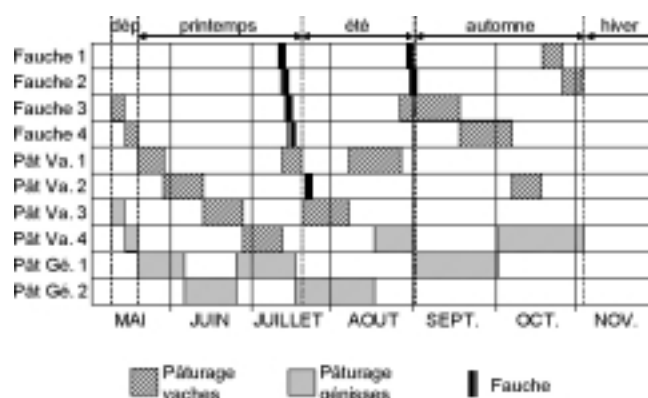
Pour une série de 8 années climatiques consécutives (1993-2000) provenant de la station de Marcenat (Cantal, 1100m d'altitude), nous avons simulé une ferme virtuelle inspirée du cas-type BV10 des réseaux d'élevage :

- chargement 1,2 UGB/ha
- 1 lot de 36 vaches suitées de 700kg, vêlant le 1<sup>er</sup> février en état 2,5/5, les veaux étant vendus à 9 mois et 350 kg
- 1 lot de génisses : 7 de plus 1 an (350 kg à 1 an) et 7 de plus de 2 ans (550 kg à 2 ans, 650 kg à 3 ans)
- 4 parcelles de fauche (Fauche) de 5 ha, fauchées à épiaison, dont 2 déprimées par les vaches et 2 fauchées en regains ; les 4 pâturées en priorité par les vaches à l'automne.
- 4 parcelles de 4 ha pâturées en priorité par les vaches (Pât Va) en printemps-été, dont 2 déprimées par les génisses ; toutes sont pâturables à l'automne, en priorité par les génisses
- 2 parcelles de 2 ha pâturées par les génisses au printemps et en été (Pât Gé)

Le déprimage est fixé à 4 jours par parcelle. Ensuite, les animaux changent de parcelle en fonction de la hauteur de l'herbe ou d'un temps de séjour maximal fixé *a priori* si la hauteur n'est pas inférieure au seuil. Les seuils appliqués ici sont : pour le lot de vaches, 7, 6 et 5 cm ou 15, 20 et 30 jours, respectivement au printemps, en été et en automne ; pour le lot de génisses, les seuils sont diminués d'1 cm et augmentés de 5 jours, avec un plafond à 30 jours.

Un exemple de calendrier fourrager proposé par SEBIEN pour ce cas de référence est donné dans la figure 3. Des indicateurs de production et d'utilisation des prairies sont dans le tableau 1.

**Figure 3** : exemple de calendrier fourrager prévu par SEBIEN pour un élevage "type BV10", pour la 1<sup>re</sup> année de simulation



**Tableau 1** : prévisions de SEBIEN moyennes et écart-type entre années simulées pour un élevage "type BV10"

INGESTION ET PERFORMANCES		Cas-type
Ingestion au pâturage : (kg MS)	par vache	13,1 ± 0,4
	par veau	2,5 ± 0,1
	par génisse	9,4 ± 0,3
Etat des vaches à la mise à l'herbe (/5)		1,88 ± 0,02
Etat des vaches à la rentrée étable (/5)		2,91 ± 0,19
Production laitière 0-6mois (kg/jour)		7,06 ± 0,03
Poids des veaux à 6 mois (kg)		203 ± 3
ALIMENTS CONSERVES		
Stock de foin avant hiver (t MS/UGB)		2,39 ± 0,16
Digestibilité moyenne du foin stocké		0,64 ± 0,01
Foin vendu (t MS/UGB)		0 ± 0
Foin acheté (t MS/UGB)		0 ± 0
Concentré acheté (kg) :	par vache	0 ± 0
	par veau	390 ± 67
	par génisse	0 ± 0
UTILISATIONS DES PRAIRIES		
Date de mise à l'herbe		10 mai ± 4j
Date de rentrée étable		2 nov ± 7j
Date de 1 <sup>ère</sup> coupe		4 juil ± 6j
Ha fauchés en 1 <sup>ère</sup> coupe		21 ± 2
Date de 2 <sup>ème</sup> coupe		14 août ± 11j
Ha fauchés en 2 <sup>ème</sup> coupe		12 ± 2
Taux d'utilisation (consommation/production brute)	fauches	0,53 ± 0,02
	pâtures	0,34 ± 0,03
Ha avec taux d'utilisation <0,25		2,7 ± 2,1
Taux d'utilisation des épis : (cons/prod br., avant floraison)	fauches	0,67 ± 0,02
	pâtures	0,35 ± 0,08
Ha avec taux d'utilisation des épis <0,25		6,0 ± 3,4

### 3.2. MODIFICATION DU CHARGEMENT GLOBAL

Si on augmente le chargement à 1,4 UGB/ha, le stock de foin par animal est réduit (-0,67 tMS/UGB) entraînant des achats de foin (0,31 tMS/UGB) et de concentré (17 kg) pour les génisses. La disponibilité d'herbe par animal est réduite : la mise à l'herbe est retardée (+2 j), le taux d'utilisation de l'herbe (+0,05) est accru, moins de surfaces sont utilisées après floraison (-0,7 ha) ou fauchées en 2<sup>e</sup> coupe (-2 ha).

Si on diminue le chargement à 1,0 UGB/ha, le stock de foin par animal est augmenté (+0,23 t MS/UGB) et du foin est vendu (0,56 t MS/UGB). Les animaux disposent de plus d'herbe au pâturage, d'où un taux d'utilisation de l'herbe (-0,02) et du matériel épié (-0,05) plus faible sur les pâtures.

### 3.3. MODIFICATION DE LA DATE DE VELAGE

Si on avance les vêlages au 1<sup>er</sup> décembre, l'hiver couvre 5 mois de lactation, d'où une plus forte consommation de foin (-0,42 tMS/UGB en stock, +0,14 tMS/UGB achetées) et de concentré (+17 kg par vache, +10 kg par génisse). Les vaches sortent en moins bon état (-0,4) et produisent moins de lait (-0,4 kg/j), mais les veaux pâturent au printemps et pèsent 33 kg de plus à 6 mois. Les vaches sont tarées tôt, d'où un meilleur état à la rentrée étable (+0,48), mais plus de surfaces sous-exploitées (+1 ha) et/ou avec un taux d'utilisation faible du matériel épié (+0,4 ha).

Si on retarde les vêlages au 1<sup>er</sup> avril, maintenir les vaches en état avant mise bas consomme plus de foin (reports de stock : -0,20 tMS/UGB, foin acheté : +0,11 tMS/UGB) et de concentré (vache : +8 kg) ; l'état à la mise à l'herbe est meilleur (+0,37) mais, comme les veaux sont plus légers à l'herbe, le potentiel laitier s'exprime moins (-0,15 kg/j) et le poids des veaux à 6 mois est réduit (-14 kg).

### 3.4. MODIFICATION DE LA HAUTEUR DE SORTIE DE PARCELLE

Si on diminue de 20 % la hauteur de sortie des parcelles en pâturage tournant, les quantités ingérées sont limitées

(vaches : -1,0 kg/j, veaux : -0,2 kg/j, génisses : -0,3 kg/j), d'où des performances moins bonnes : la production laitière (-0,13 kg/j) le poids des veaux à 6 mois (-5 kg) et l'état à la rentrée étable (-0,52) diminuent nettement. Il en résulte une consommation de foin (-0,29 tMS en stock) et de concentré (veaux : +72 kg) plus élevée. Le temps de séjour sur les parcelles étant allongé, les surfaces sous-exploitées (+2,0 ha) et/ou avec un taux d'utilisation faible du matériel épié (+1,7 ha) augmentent.

Si on élève la hauteur de sortie des parcelles de 20 %, les animaux sont nourris presque à volonté tout au long de l'année et notamment l'offre d'herbe en automne est supérieure ; l'ingestion des vaches est accrue (+0,4 kg), d'où une production laitière stimulée (+0,06 kg/j), une plus faible consommation de concentré pour les veaux (-38 kg) et un meilleur état des vaches à la rentrée étable (+0,24). De plus, comme la rotation est rapide, le matériel épié est mieux consommé (-0,33 ha sous-exploités).

### CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les sous-modèles biologiques et de conduite de SEBIEN sont en cours de validation, sur données expérimentales et auprès d'experts de la recherche et du développement. Le modèle complet sera enrichi d'une grille d'interprétation des états de végétation en clé "diversité végétale" et des aspects "fertilisation", puis validé dans son ensemble.

Par la suite, nous utiliserons SEBIEN sur des pas de temps longs (≥10 ans) pour tester les effets de conduites supposées favorables à la biodiversité, toutes choses égales par ailleurs, puis en ajustant des éléments de conduite du troupeau et du système fourrager pour rechercher un nouvel équilibre entre production et entretien des prairies. Les sorties de SEBIEN pourront être utilisées comme entrées pour des modèles d'évaluation économique.

*Nous tenons à remercier : R. Bouchy (Ch. d'Agric. du Cantal) J-L Reuillon (Institut de l'Elevage), les domaines INRA de Marcenat et des Monts Dore et les éleveurs pour leur expertise ; la région Auvergne et le FNADT pour leur soutien financier.*

**Balent G., Alard D., Blanfort V. et Poudevigne I. (1999)** Fourrages 160, 385-402

**Baumont R., Dumont B., Carrère P., Pérochon L., Mazel C., Force C., Prache S., Louault F., Soussana J. F., Hill D. et Petit M. (2002).** Renc. Rech. Rum., 9, 69-72

**Carrère P., Force C., Soussana J.F, Louault F., Dumont B. et Baumont R. (2002)** *Grassl. Sci. in Eu.*, vol. 7, 282-283

**Cros M.J., Duru M. and Peyre D. (2001)** Fourrages 167, 365-383

**Cruz P., Duru M., Therond O., Theau J. P., Ducourtieux C., Jouany C., AlHajKhaled R. et Ansquer P. (2002)** Fourrages 172, 335-354

**Delagarde R., Prache S., D'Hour P. et Petit M. (2001)** Fourrages 166, 189-212

**Delaby L., Peyraud J. L. et Faverdin P. (2001)** Fourrages 167, 385-398

**INRA (1988).** Jarrige (ed.), INRA Editions, Paris, 471 pp.

**Institut de l'Elevage (2004)** Réseaux d'élevage Auvergne et Lozère : référentiel fourrager et cas-types

**Jouven M., Carrère P. et Baumont R. (2005)** Grass and Forage Science, soumis

**Veysset P., Soulez M., Lherm M., Petit M., Garel J.P., Bebin D. (2004)** Renc. Rech. Rum., 11, 205