

Evaluation d'un simulateur de stratégies de pâturage de vaches laitières

M.-J. CROS (1), M. DURU (2)*, F. GARCIA (1), M. GRASSET (5), A. LEGALL (6), R. MARTIN-CLOUAIRE (1), D. PEYRE (4), L. DELABY (3), J.-L. FIORELLI (4), J.-L. PEYRAUD (3)

(1) Unité de Biométrie et Intelligence Artificielle, INRA Toulouse

(2) Unité d'Agronomie, INRA Toulouse

(3) Unité mixte de recherche Production du lait, INRA Rennes,

(4) Unité SAD, INRA Mirecourt

(5) Chambre d'agriculture d'Ille-et-Vilaine,

(6) Institut de l'élevage, Rennes

RESUME – La construction d'un simulateur de pâturage en vue d'aider les conseillers d'élevage à définir et évaluer des stratégies de pâturage est motivée par la difficulté d'anticiper les effets de changements d'une ou plusieurs pratiques, qu'il s'agisse de fertilisation azotée, ou bien de la place de l'ensilage de maïs dans l'alimentation au printemps. Le simulateur SEPATOU consiste en l'interaction de deux sous modèles. Le modèle biotechnique simule (i) la croissance de l'herbe et sa qualité, (ii) l'ingestion de l'herbe, (iii) la production laitière. Le modèle de décision est un cadre permettant de représenter des règles d'organisation, des règles d'adaptation (comment s'adapter aux aléas, notamment du climat) et des règles opératoires pour les décisions au jour le jour. Les sorties principales du simulateur sont des calendriers de pâturage et d'alimentation, les courbes de production potentielles et simulées.

On considère ici le cas d'une stratégie « 100 jours de pâturage seul » construite par les experts bretons à partir de suivis d'élevage. Les résultats de simulation montrent que le calendrier des événements simulés (date de mise à l'herbe, fermeture du silo...) et le calendrier de pâturage (chargement et ses variations en cours de campagne) sont cohérents avec la stratégie telle que définie par les experts. L'évaluation du simulateur actuellement en cours est poursuivie avec d'autres experts pour un plus grand nombre de stratégies, avant d'être utilisée pour concevoir de nouveaux scénarios.

Evaluation d'un simulateur de stratégies de pâturage de vaches laitières

SUMMARY – The simulation system called SEPATOU has been developed for the purpose of helping extension service advisers in defining and evaluating rotational grazing management strategies. Actually it is very difficult to anticipate the effects of changes such as nitrogen fertilisation, maize feeding during spring. The software reproduces the dynamic interaction between two sub-models. The biotechnical model simulates : (i) grass growth and its quality, (ii) the intake of herb, (iii) the milk production. The decision model enables to take into account different types of decision rules : planning rules, adaptation rules (which specify how to adapt to climate) and action rules for deciding daily operations. The main simulation outputs are grazing calendars, feeding calendars, milk production curves.

The paper reports on a case study based on a management strategy called "100 pasture-only days" that has been elaborated by Breton advisory service. Simulations of this strategy under different climatic years gave results that are both realistic and consistent with expectation of experts. Other cases will be considered in further work on the evaluation of the SEPATOU system.

INTRODUCTION

La place du pâturage dans les calendriers alimentaires peut être très variable selon les élevages au sein d'une même région. Il s'agit donc d'un choix de système motivé par des considérations internes ou externes aux élevages, y compris pour des élevages bovins laitiers (Thébault et al., 1998). Il n'en reste pas moins que quelle que soit la place du pâturage, il importe de raisonner sa conduite qui correspond de fait toujours à un compromis entre d'une part la recherche d'une efficacité d'utilisation élevée (taux d'utilisation de l'herbe produite, Lemaire, 1999) et d'autre part des contraintes de mise en œuvre liées le plus souvent aux caractéristiques des parcelles (surface facilement accessible par vache, quota par ha), à l'organisation du travail ou à des considérations économiques. Ces contraintes peuvent conduire à choisir une efficacité technique moindre à l'échelle de la parcelle pâturée (Coléno et Duru, 1998).

Pour des élevages bovins lait, les recommandations établies de longue date s'appuient sur des résultats expérimentaux (hauteur et fréquence optimales) et des expertises locales. Ces dernières ont comme objectif de fournir des normes de dimensionnement du système de pâturage (chargement) par petites régions et système d'élevage, qui sont conçues de façon à ce que les règles de conduite préconisées à l'échelle de la parcelle puissent facilement être mises en œuvre. Il s'agit donc de définir au préalable de grands équilibres entre l'offre en fourrage (fertilisation azotée et surface allouée) et la demande (nombre de vaches, production par vache). Les règles d'organisation correspondantes sont supposées cohérentes entre elles et avec les objectifs de production. Pour cette organisation, l'éleveur procède le plus souvent par tâtonnement sur la base de l'expérience des années antérieures. Cette procédure reste toutefois difficile à mettre en œuvre, difficilement communicable et peu adaptée au changement de contexte de production lorsque celui-ci nécessite d'imaginer et éventuellement de mettre en œuvre d'autres stratégies de pâturage.

Pour faciliter cette procédure d'organisation, nous avons construit un simulateur (SEPA TOU) qui comprend un module biotechnique simulant les effets des caractéristiques du milieu (sol, climat) et des interventions techniques sur la production d'herbe, son prélèvement par les vaches et la transformation de l'énergie en lait, ainsi qu'un module décisionnel permettant de spécifier et de hiérarchiser les différentes règles de décision (Cros et al., 1999b). La validation d'un tel outil nécessite une évaluation de l'ensemble du modèle par des experts. En effet, la validation du modèle biotechnique suppose d'incorporer des règles de conduite dès lors que l'on considère plusieurs parcelles et plusieurs cycles de pâturage. Les jeux de données adéquats sont alors quasi inexistantes. Les expérimentations systèmes, en l'occurrence peu nombreuses, ne comparent généralement pas plus de deux modes de conduite. D'autre part, les variables enregistrées dans les suivis d'élevage ne sont pas adaptées ou n'ont pas la précision suffisante pour mettre en œuvre une telle procédure. C'est la raison pour laquelle nous avons soumis les résultats de simulation aux experts de deux régions françaises : la Bretagne et l'Aveyron. Cette communication présente, à titre d'exemple, le simulateur et les résultats obtenus pour une stratégie élaborée avec les partenaires bretons.

MATERIEL ET METHODES

1.1. LE CADRE DE MODELISATION

Le système de production ne concerne que le troupeau de vaches productrices, de début février à la fin juillet, pour un mode de production basé de manière prédominante sur l'exploitation de ressources fourragères par pâturage tournant et complété par du maïs ensilé, du foin et des aliments concentrés. On fait l'hypothèse d'homogénéité intra-parcelle et on considère une vache moyenne (même poids, même potentiel génétique, même date de vêlage pour toutes les vaches du troupeau), mais les paramètres peuvent être modifiés pour l'ensemble des vaches. Pour évaluer la production laitière, seul le bilan énergétique est considéré, dans la mesure où on suppose

qu'il n'y a pas de risque de déficit de protéines au pâturage. Concernant les interventions techniques, on considère que l'engrais azoté est apporté en trois fois à des dates fixes définies dans la stratégie, avec à une date donnée la même dose pour chaque parcelle. L'affectation du troupeau sur une parcelle se fait au moins pour une journée complète.

1.2. LE MODÈLE BIOPHYSIQUE

Nous en rappelons ci-dessous l'essentiel, le détail ayant été donné par ailleurs (Cros et al., 1999a). Le modèle comprend un **module sol** dont les variables d'entrée sont la réserve utile (RU) et la texture. Connaissant la pluviométrie, l'évapo-transpiration potentielle (ETP) et la RU, on calcule l'eau disponible, l'évapo-transpiration réelle (ETR) et un indice hydrique (ETR/ETP). La texture est une des informations qui peut être mobilisée pour décider si une parcelle est portante ou non. Le **module plante** permet de simuler la croissance nette : la différence entre la croissance brute et la sénescence. La croissance brute est estimée à partir des données du climat (température et rayonnement). Elle est affectée de coefficients de stress hydrique et azoté compris entre 0 et 1. Le stress azoté correspond à l'indice de nutrition azoté calculé à partir de la teneur en azote et de la biomasse (Lemaire et Gastal, 1997). C'est une variable d'entrée du modèle. Une expertise régionale permet de définir des valeurs de nutrition azotée en fonction des caractéristiques des sols et des apports d'azote. La biomasse qui devient sénescence correspond à une fraction de la biomasse résiduelle après pâturage (Duru et al., 2000). La digestibilité de l'herbe offerte est simulée en fonction du temps de repousse, de la hauteur d'herbe résiduelle et de la température (Duru et al., 1999). Le **module animal** permet de simuler la quantité d'herbe ingérée en fonction du stade de lactation, de la capacité d'ingestion de la vache, ainsi que de la quantité d'herbe offerte par vache. Lorsqu'un fourrage grossier est distribué (maïs ensilé, foin), on considère qu'il est donné en premier dans la journée ; le pâturage vient ensuite. Dans ce cas, un coefficient de substitution unique est considéré quel que soit le fourrage grossier. Enfin la production laitière est modélisée en fonction de l'énergie ingérée.

Le simulateur fonctionne de telle façon que les sorties du modèle décisionnel (les actions à décider) influencent la dynamique du système biophysique dont certaines sorties (variables d'état du système) informent le modèle décisionnel.

1.3. LE MODÈLE DE DÉCISION

Le modèle de décision permet de simuler au jour le jour la prise de décision des interventions techniques (actions). Une des caractéristiques novatrices du modèle est d'être structuré en 2 niveaux de décision. Au niveau de l'organisation générale, les grandes lignes de conduite sont définies (sous forme de plans), et adaptées : par exemple, nombre de parcelles allouées au pâturage à différentes périodes, durée de la transition au printemps. Au niveau opératoire sont décidées chaque jour les actions compte tenu des décisions du niveau précédent et de l'état observé ou anticipé du modèle biophysique et de l'environnement (le climat) : par exemple, mise du troupeau sur une parcelle particulière, distribution de 10 kg de maïs par vache.

Le modèle permet aussi de raisonner différentes activités relativement indépendantes et leurs interrelations. Mener une activité revient à prendre des décisions d'organisation et à réaliser certaines actions. Les activités considérées sont : le pâturage (actions associées : déplacer le troupeau d'une parcelle à l'autre, le rentrer à l'étable), l'utilisation de fourrages grossiers et de concentrés (actions : donner une certaine quantité de maïs ensilé, foin et/ou concentré), la fauche (actions : ensiler, faucher) et la fertilisation (actions : apporter de l'azote sur une parcelle).

Durant la simulation, les décisions sont prises sur la base d'une stratégie énoncée en début de simulation. Une stratégie est essentiellement constituée de règles de décision dont une forme très générale est SI tel état est observé ALORS prendre telle décision. Les règles sont structurées en 2 groupes :

- les règles d'organisation : SI tel événement ALORS définir ou modifier le plan à suivre ;
- les règles opératoires : SI tel plan doit être suivi et tel état est observé ALORS appliquer telle action.

On retrouve au niveau de l'écriture de ces règles le découpage en activités. Pour être utilisées par le simulateur, les règles sont écrites dans un langage spécifique. Ce langage permet de définir des indicateurs qui signalent l'occurrence d'un état particulier du modèle biophysique ou de l'environnement (événement). Ces indicateurs peuvent être utilisés dans l'expression des règles. Ce cadre de représentation est très général et permet de représenter une large gamme de stratégies d'éleveurs.

2. RESULTATS

2.1. DÉFINITION D'UNE STRATÉGIE

Comme dans de nombreuses régions d'élevage, une caractéristique des systèmes d'alimentation en Bretagne est leur diversité. La définition de différents « menus » a été réalisée à partir de réseaux d'élevage. Cinq modèles pour vaches laitières au pâturage ont ainsi été proposés (Thébault et al., 1998). En fonction du rendement moyen espéré en herbe et de la surface accessible au pâturage par vache, il est ainsi proposé des modèles caractérisés globalement par le nombre de jours de pâturage seul. Chacun de ces modèles spécifie en outre des éléments de décision pour les dates clés : la mise à l'herbe, le pâturage jour et nuit, la fermeture et la réouverture du silo, la fin de pâturage.

Pour la stratégie « 100 jours de pâturage seul », support de cette communication, la surface accessible par vache au pâturage est de 35 ares pour un rendement net espéré de 8 t de MS/ha. Les objectifs sont : (i) une mise à l'herbe précoce, avant le 1^{er} mars, dès que la hauteur atteint 4 à 6 cm, pour permettre d'étaler la croissance et de limiter la fauche, (ii) une hauteur sortie d'environ 4,5 cm, (iii) le pâturage jour-nuit dès que la vitesse de croissance journalière atteint 20-25 kg MS/ha/jour à 30-35 selon qu'il y a ou non de l'avance, (iv) la fermeture du silo entre le 1^{er} et le 15 avril (10 jours d'avance au pâturage ou une vitesse de croissance supérieure à 40 kg MS/ha/jour), (v) la fin du premier cycle avant le 20 avril. Le pâturage est prolongé en été par la technique du stock d'herbe sur pied. Le silo de maïs est fermé durant 3 mois environ. Toutes les parcelles utilisées au printemps sont pâturées au premier cycle. La fauche intervient ensuite comme régulateur. Les reports sur pied doivent permettre de prolonger le pâturage sans complémentarité jusqu'à fin juillet.

Un travail d'explicitation a été nécessaire pour pouvoir formaliser la stratégie existante avec la finesse requise par le cadre de modélisation de SEPATOU.

2.2. CONFIGURATION DE L'EXPLOITATION

Il s'agit d'une exploitation du bassin de Rennes comprenant un troupeau de 31 vaches de potentiel 7500 kilos, ayant vêlé en moyenne le 15 octobre de l'année précédente. Le pâturage a lieu sur 11 ha de ray-grass anglais partagé en 10 parcelles. Celles-ci sont pour moitié en sol sableux (réserve utile de 80 mm) et pour moitié en sol argileux (réserve utile de 150 mm). Les simulations sont effectuées pour 17 années climatiques.

2.3. EXEMPLES DE SORTIE DU MODÈLE

2.3.1 Calendriers de pâturage et d'alimentation

Nous donnons ci-après un exemple de sortie du simulateur, à savoir un calendrier d'alimentation et un calendrier de pâturage d'une année donnée, pour montrer que les sorties d'écran sont proches des enregistrements effectués dans les élevages.

2.3.2 Bilan et calendrier d'événements

La quantité d'herbe consommée simulée correspond en moyenne à 100 jours de pâturage seul et 56 jours à mi-ration (période de transition au printemps et ouverture du silo avant le 31 juillet, cf. fig. 3). Ces données sont cohérentes avec la définition de la stratégie (cf. 2.1.). Un bilan de consommation annuel est calculé (Tableau 1).

Figure 1
Exemple de simulation de calendrier alimentaire

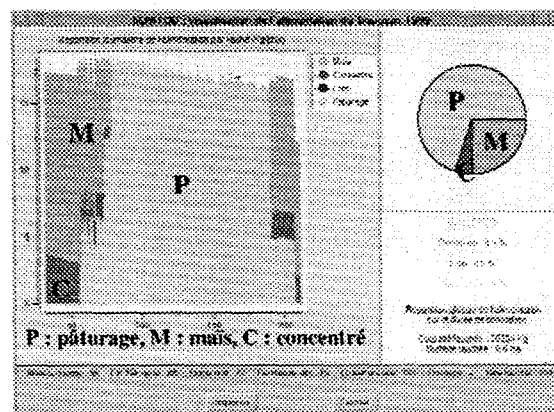


Figure 2
Exemple de simulation de calendrier de pâturage

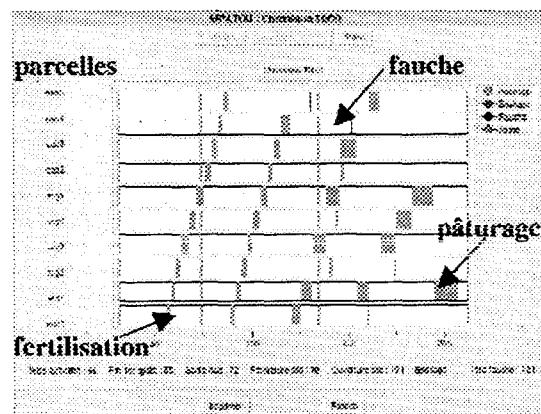
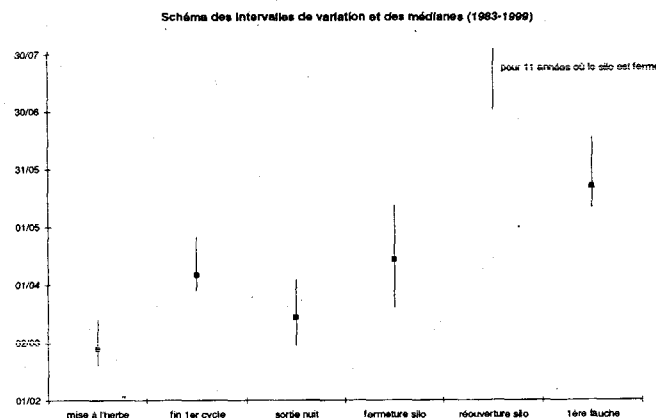


Tableau 1
Aliments ingérés (kg de MS/vache) au cours de la période 1/02-15/07 ; valeurs médianes et intervalles de variation

Herbe pâturée	2042 (1922-2269)
Maïs	877 (692-987)
Concentrés	181 (144-208)

Figure 3
Calendrier des événements : médianes et intervalles de variation



3. DISCUSSION ET CONCLUSION

Un effort important a été nécessaire pour aboutir au modèle biotechnique présenté et pour formaliser la notion de stratégie de conduite. Le simulateur fournit maintenant des résultats réalistes et cohérents avec les référentiels des experts bretons. La phase de validation en cours est poursuivie de façon à tester l'aptitude du simulateur à bien rendre compte des connaissances des experts pour d'autres cas que celui présenté ici, et

aussi pour préciser les limites de son usage. Les autres modèles « menus » établis en Bretagne servent à cette évaluation, ainsi que les modèles établis par les experts aveyronnais. Le travail d'évaluation a d'ores et déjà montré que le simulateur est un support efficace de réflexion pour identifier les savoirs et les lacunes dans la formulation des stratégies.

Il est destiné à des ingénieurs de recherche de références ou de recherche appliquée ayant une responsabilité régionale. Il peut être utilisé pour l'explicitation de stratégies par le fait qu'il nécessite de définir précisément un ensemble d'instructions et de règles, appropriées pour un acteur organisant à l'avance un plan de pâturage. Il permet d'orienter le recueil de références. C'est aussi un outil de formation et d'animation car il permet d'évaluer les conséquences de variantes de scénarios (mise à l'herbe...) qui ne sont généralement pas testées expérimentalement.

Une fois une stratégie décrite, il est possible d'en simuler des variantes (changement des critères pour la mise à l'herbe, modification de la réserve en eau des sols...) et d'en évaluer les incidences soit visuellement pour une année particulière en observant les calendriers, ou bien en analysant les bilans chiffrés. Il est alors possible d'en déduire si les modifications envi-

sagées sont compatibles avec les objectifs attendus en termes de continuité d'alimentation pour éviter les ruptures et en termes de production laitière.

Coleno F.C., Duru M., 1997. Etud. Rech. Syst. Agraires Dév., 31, 45-61.

Cros M.-J., Garcia F., Martin-Clouaire R. (1999). 2nd Europ. Conf. for Information Technology in Agriculture (EFITA-99). Bonn, Sept 27-30.

Cros M.-J., Duru M., Garcia F., Martin-Clouaire R. (1999). Proc. MODSIM-99. Hamilton, NZ, Décembre.

Lemaire, G., Gastal, F. (1997). In Diagnosis of the nitrogen status in the crops. Springer Verlag, Berlin, 3-44.

Duru M, Feuillerac E and Ducrocq H (1999). J. of Agric. Sci. 133, 379-388.

Duru M, Ducrocq H and Bossuet L (2000). Journal of range management, 53, 395-401.

Thebault M., Dequin A., Follet D., Grasset M., Roger P., 1998. Dossier : 5 menus pour vaches laitières au pâturage.

EMBED Excel.Sheet.8