Développement d'un organisateur de pâturage assisté par ordinateur : Pâtur'IN

L. DELABY, JL. PEYRAUD, Ph. FAVERDIN
INRA, Unité Mixte de Recherches sur la Production du Lait. 35590 St Gilles. France

RESUME - Le pâturage s'apparente à un jeu de stratégie composé de trois acteurs : l'éleveur, la vache et l'herbe. L'éleveur doit organiser dans le temps et dans l'espace l'alimentation de son troupeau à partir d'une ressource fourragère instable et spécifique de chaque élevage. Malgré l'apparition d'outils tels que l'herbomètre et de méthodes telles que le stock d'herbe disponible (SHD), la gestion anticipée des prairies pâturées et la prise de décision reposent surtout sur l'expérience et l'intuition des éleveurs et conseillers agricoles. Les travaux de recherches appliquées conduits à l'UMR Production du Lait sur la conduite et la nutrition des troupeaux laitiers au pâturage ont permis de développer un organisateur de pâturage assisté par ordinateur : Pâtur'IN. Ce logiciel permet à l'utilisateur de planifier la gestion du pâturage en prenant en compte l'évolution du couvert végétal et l'utilisation de l'herbe par les animaux simulées par des modèles de calcul intégrés. A partir de règles de décision paramètrables, l'utilisateur déclenche, parcelle par parcelle, des événements (pâturage, fauche, fertilisation, ...) qui agissent sur 2 fonctions : Croissance pour les parcelles et Ingestion pour les troupeaux. Afin de prendre en compte les spécificités de l'exploitation et du climat de l'année et donc d'ajuster régulièrement les paramètres, 2 principes originaux ont été imaginés : l'actualisation toujours possible de l'état des parcelles et du troupeau à partir du calendrier de pâturage réel enregistré sur l'exploitation et l'estimation in situ de la croissance de l'herbe à l'aide de l'herbomètre. Grâce à ce logiciel, différents scénarios peuvent être testés avant la prise de décision. Pâtur'IN, nécessite encore quelques améliorations fonctionnelles avant une mise à l'épreuve extérieure afin de valider sa convivialité et ses fonctionnalités.

Development of a computer-assisted grazing organizer : Pâtur'IN

L. DELABY, JL. PEYRAUD, Ph. FAVERDIN
INRA, Unité Mixte de Recherches sur la Production du Lait. 35590 St Gilles. France

SUMMARY - Grazing can be considered as a strategy game with three actors : the breeder, the cow and the grass. The breeder has to organize the feeding of his herd in time and in space from an unstable fodder ressource which is specific to each farm. Despite the appearance of new tools such as the rising plate meter and of new methods such as the budget farm, the anticiped grazing management and the decision-making are mainly based on the experience and feeling of the breeders or farming advisors. The applied research led by the UMR Production du Lait on the management and nutrition of dairy cows at grazing have enabled the development of a computer-assisted grazing organizer : Pâtur'IN. This software permits the user to plan his grazing management, taking into account the evolution of the sward in each paddock and the use of grass by the animals simulated by integrated mathematical models. From decision rules, the user starts events (grazing, cutting, nitrogen fertilization...), paddock after paddock, which operate on two functions : growing for the grass and ingestion for the herds. In order to take into account the specificities of each farm and of the year climate, and so to regularly adapt the parameters, two main principles have been imagined : the always possible updating of the state of the paddocks and of the herd, from the real grazing calendar recorded on the farm and the in situ estimation of the grass growth thanks to the rising plate meter. Thanks to this software, different ways can be tried before making the decision. Pâtur'IN still requires some further functional improvements before being tested by users in order to ensure its easiness and real capacities.

INTRODUCTION

« Le pâturage, c'est l'art de se faire rencontrer la vache et l'herbe au bon moment » (Voisin, 1957). Cette méthode d'alimentation repose donc sur la gestion spatiale et temporelle de deux flux en compétition : la croissance nette de l'herbe et la consommation du troupeau (Lemaire, 1987). Pour réguler ces flux instables au cours de la saison de pâturage, l'éleveur dispose de différents moyens techniques : date de mise à l'herbe, fertilisation azotée, récolte par fauche, apports d'aliments complémentaires, extension des surfaces pâturées. Mais avant de choisir le type d'intervention et la date, l'éleveur doit organiser son calendrier de pâturage et prévoir les réactions en chaîne afin de les maîtriser et pérenniser une ressource de qualité.

Dans les années 1980, l'utilisation de l'herbomètre à plateau a permis de mieux caractériser l'état du couvert végétal et de définir ainsi des recommandations en terme de hauteurs objectifs en entrée et sortie de parcelle tant en pâturage libre qu'en pâturage tournant (Maxwell et Wright, 1987). Plus récemment, la notion de trésorerie fourragère proposée par Duru et al (1988) a été adaptée en terme de jours d'avance ou de stock d'herbe disponible par vache (SHD) afin de consolider les décisions importantes (mise à l'herbe, fermeture du silo, fauche de parcelles, ...). A titre d'exemple, cette méthode a été utilisée en Irlande par Patterson (1998) pour élaborer la feuille de calcul « Grass Budget » ou en France par l'ITCF (Le Gallic, 2000) avec l'Herbo-Pocket.

Malgré ces avancées techniques, la gestion anticipée des surfaces pâturées reste délicate faute d'outils permettant de tester en dynamique les diverses adaptations fréquentes et spécifiques de chaque élevage que requiert le pâturage. Les travaux conduits par l'UMR Production du Lait sur les domaines expérimentaux de Méjusseaume (35) et du Pin au Haras (61), à la fois sur la conduite du troupeau laitier au pâturage et l'ingestion d'herbe pâturée ont permis de développer un tel outil de simulation. L'objectif de ce texte est de présenter la structure et les fonctionnalités d'un organisateur de pâturage assisté par ordinateur : **Pâtur'IN**.

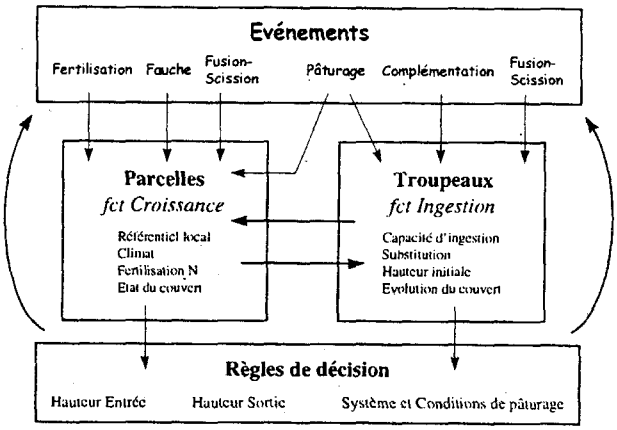
OBJECTIF ET STRUCTURE DU LOGICIEL

Pâtur'IN a pour objectif principal de permettre à l'utilisateur de planifier la gestion du pâturage en prenant en compte l'évolution du couvert végétal et l'utilisation de l'herbe par les animaux sous l'effet de différents événements simulés par des modèles de calcul intégrés (Figure 1). La simulation est réalisée pour une durée variable à partir de 3 sources d'informations :

- les éléments structurels de l'exploitation décrivant les parcelles (surfaces, type de prairies et de croissance, densité moyenne du couvert végétal...etc), les troupeaux (effectif, performances...), les aliments complémentaires (fourrages, concentrés).
- le dernier état connu de chaque parcelle, à savoir la date, la hauteur, la fertilisation azotée et éventuellement la biomasse mesurée. La date et le dernier état constitue pour chaque parcelle, le point initial de la simulation.
- la grille décadaire de croissance standardisée de l'herbe, établie à partir d'un référentiel local. Cette croissance standardisée est définie comme la croissance d'une prairie de ray-grass anglais en conditions climatiques normales, de biomasse et hauteur initiales de respectivement 1250 kg de MS et 10 cm et fertilisées à 40 kg N/ha.

Pour calculer, jour après jour, la biomasse présente sur chacune des parcelles, Pâtur'IN utilise deux fonctions : *Croissance* et *Ingestion*. La fonction *Croissance* modifie la croissance décadaire standardisée à l'aide de 3 ou 4 modèles successifs dépendant du climat, de la fertilisation azotée appliquée, de la biomasse présente calculée au jour [j] et s'il y a lieu de la présence du troupeau. Ces modèles empiriques utilisent des variables simples, disponibles sur l'exploitation. Le climat, décrit très succinctement par rapport aux normales saisonnières, intervient grâce à un jeu de coefficients linéaires multiplicatifs. L'effet de la fertilisation azotée est intégré grâce à une famille d'équations exponentielles asymptotiques dont les coefficients varient selon la saison. Enfin, la biomasse présente, qui diminue en cas de présence du troupeau, régule la fonction *Croissance* au travers un modèle linéaire segmenté. La fonction *Ingestion* composée de 4 modèles prend en compte successivement la capacité d'ingestion du troupeau, le taux de substitution herbe - aliments complémentaires, l'état initial de la parcelle et enfin l'évolution de la hauteur du couvert végétal en présence des animaux. La capacité d'ingestion dépend de la production laitière possible, calculée à partir du potentiel du troupeau et de son stade de lactation, et du poids vif moyen. Cette fonction, qui ne dépend que de l'animal, reprend les mêmes variables et concepts que ceux utilisés par Faverdin et al (1987) mais avec une équation adaptée des travaux de Peyraud et al (1996, 1998 et non publiés) au pâturage. Le taux de substitution est fixé à 0,5 (revue bibliographique de Delagarde et al, non publié) pour les concentrés et à 0,9 x la valeur UEL pour les fourrages complémentaires (Faverdin, comm. pers). L'effet de l'état initial du couvert sur les quantités ingérées, est évalué grâce à un modèle linéaire segmenté, issu de la thèse de Parga (en cours). Enfin, la réduction des quantités ingérées associée au processus de défoliation (Wade, 1991) durant la journée (pâturage rationné) ou durant le temps de séjour (pâturage tournant) a également été introduite sous forme d'une loi exponentielle dépendant de la hauteur d'herbe initiale.

Figure 1
Représentation schématique des événements et fonctions principales utilisées dans Pâtur'IN.



Afin de réajuster régulièrement les paramètres des 2 fonctions, Pâtur'IN repose sur deux idées essentielles et originales :

1/ l'actualisation possible à tout moment de l'état des parcelles et du troupeau à partir des informations acquises et/ou des événements vécus sur l'exploitation en cours de saison de pâturage. Ce premier principe s'appuie sur l'enregistrement systématique de toutes les interventions réalisées sur les parcelles (pâturage, fauche, fertilisation, mesure de hauteurs d'herbe).

2/ l'estimation *in situ* de la croissance de l'herbe à l'aide de l'herbomètre selon une méthode novatrice et moins laborieuse que celle utilisée pour le SHD. Ce second principe est basé sur la mesure décadaire de la hauteur de l'herbe (60 à 80 mesures) dans 2 ou 3 zones piquetées de surface limitée (environ 20 x 100 m) et réparties sur différentes parcelles représentatives de la sole pâturée. Par différence entre les hauteurs mesurées à 2 dates successives, Pâtur'IN calcule la croissance observée. Cette croissance observée ne représente que celle de la zone mesurée avec ses caractéristiques spécifiques et différentes des autres parcelles. Afin de pouvoir l'utiliser dans la grille décadaire de croissance, il est nécessaire de la convertir en croissance standardisée, c'est à dire de la corriger selon l'état initial de la zone mesurée, la fertilisation azotée appliquée, les conditions climatiques et éventuellement la densité de l'herbe. La conversion, basée sur un algorithme de calcul itératif, appelle les mêmes équations que celles utilisée pour la fonction *Croissance*. Cette méthode de paramétrisation à partir de mesures au champ permet d'intégrer en temps réel les spécificités du déroulement de la saison de pâturage.

FONCTIONNALITES DU LOGICIEL

Après avoir défini et/ou actualisé l'ensemble des informations nécessaires et décrites ci-dessus, Pâtur'IN permet à la fois l'analyse du passé et l'organisation du futur.

L'enregistrement minutieux de toutes les interventions réalisées au cours d'une saison de pâturage, permet de tracer et imprimer instantanément le graphe du calendrier de pâturage. De plus, il est possible de calculer de façon homogène entre exploitations, les bilans de pâturage par troupeaux, par groupe de parcelles, pour une période donnée ou globaux, tels que définis par Hoden et al (1986).

Pour réaliser une simulation, l'utilisateur dispose de 2 modes d'utilisation de Pâtur'IN : statique ou dynamique. Par analogie au calcul du SHD, le mode statique permet de calculer pour un jour donné le stock d'herbe consommable (SHC en kg de MS total ou par vache) et les jours d'avance (JAV). Le SHC est calculé sur l'ensemble des parcelles sélectionnées par l'utilisateur et dont la hauteur d'herbe est supérieure à 6 cm. Le logiciel évalue alors pour chaque parcelle la hauteur consommable à partir de la hauteur présente le jour [j] et des conditions de pâturage imposées par l'éleveur. Cette hauteur consommable est ensuite traduite en kg de MS à partir de la densité des parcelles, fixée par défaut à 250 kg MS/ha/cm mais modifiable par parcelle ou par décade. En l'absence de tout apport de fourrages complémentaires et selon l'apport de concentré, Pâtur'IN transforme le SHC en JAV à partir de l'effectif du troupeau et en admettant une consommation constante par vache de 16 kg MS/jour et un taux de substitution herbe-concentré de 0,5.

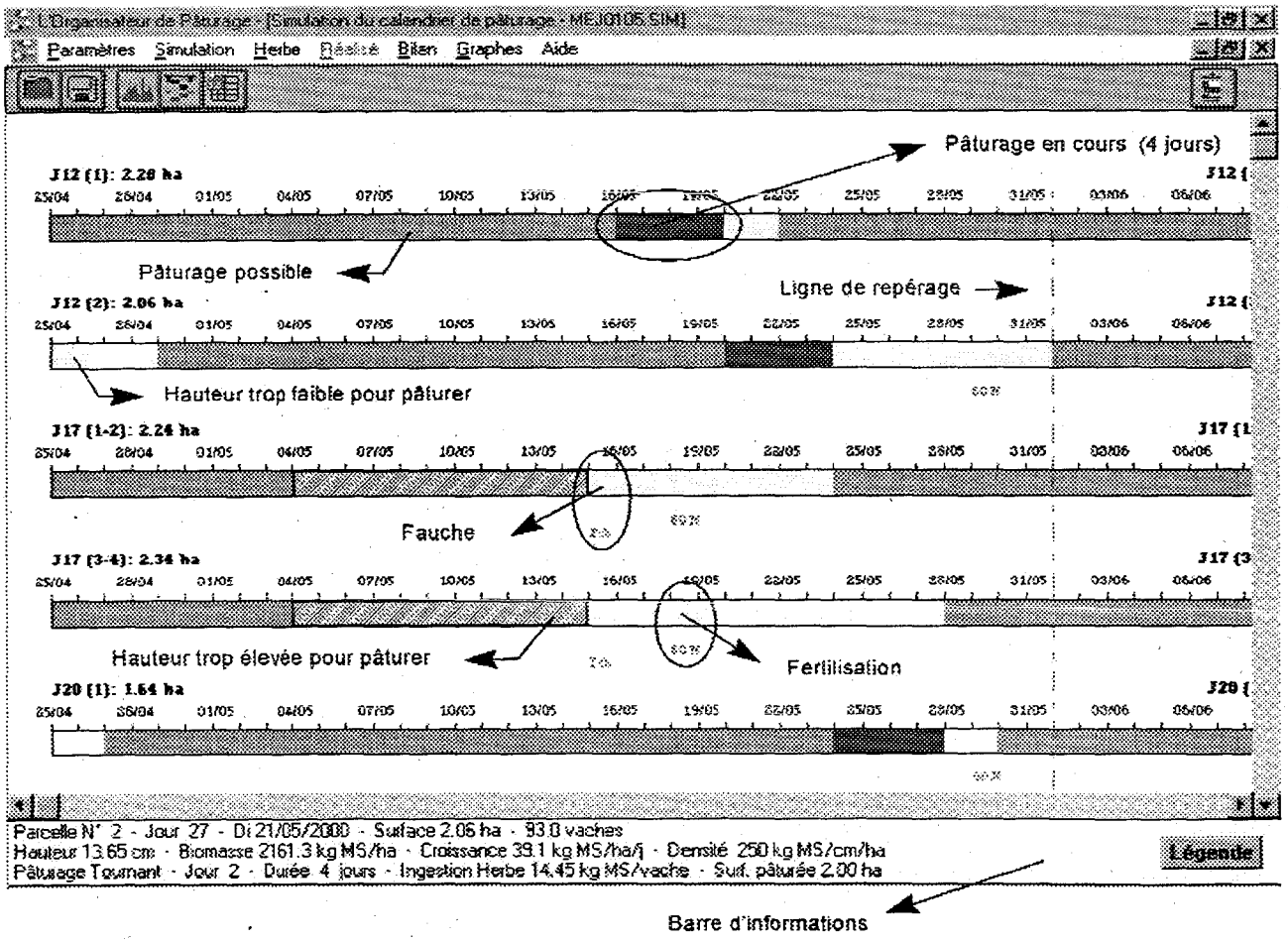
En mode dynamique, de loin le plus intéressant, l'utilisateur déclenche, de manière interactive parcelle par parcelle, les différents événements susceptibles d'être réalisés au cours de la période considérée : pâturage, fauche, fauche des refus, fertilisation azotée, scission de parcelle. Le logiciel intègre alors les conséquences de chaque événement et recalcule, jour après jour, à partir des paramètres disponibles, la hauteur et la biomasse de la parcelle.

L'événement « Pâturage » est le plus complexe à gérer. L'objectif à atteindre est en effet différent selon le système de pâturage choisi. En pâturage tournant, il s'agit de prédire le temps de séjour possible dans la parcelle tandis qu'en pâturage rationné, il s'agit de déterminer la surface à offrir au troupeau chaque jour. Dans les deux cas, Pâtur'IN calcule quotidiennement les quantités d'herbe ingérées par vache, puis par le troupeau et décide du maintien possible ou non du troupeau dans la parcelle selon les régles de décision souhaitées par l'éleveur.

Concrétement, l'utilisateur choisit à l'écran le jour et la parcelle destinée au pâturage. Il définit ensuite l'ensemble des paramètres spécifiques de cet événement (troupeau concerné, complémentation, système de pâturage, fusion de parcelles, ...etc) et les règles de décision. Ces règles de décision concernent les hauteurs entrées et sorties de parcelles et les conditions de pâturage (normales, sévères ou libérales). Le paramètrage des hauteurs sorties peut être soit fixe pour une décade donnée sur toutes les parcelles, soit spécifique pour chaque parcelle et défini lors de chaque événement « Pâturage », soit calculé par le logiciel selon la hauteur entrée simulée pour des conditions de pâturage normales. Le choix de conditions de pâturage libérales ou sévéres modulent ensuite cette hauteur sortie calculée de respectivement + ou - 1 cm. L'utilisateur peut intervenir en cours de pâturage, afin de modifier les différents paramètres de pâturage tels que, par exemple, l'apport de fourrages complémentaires durant la transition de mise à l'herbe. Chaque parcelle peut ainsi être virtuellement pâturée pour aboutir à un ou plusieurs cycles de pâturage sur la durée de la simulation.

L'événement « Fauche » ou « Fauche des refus » se traduit un jour donné par une récolte et la définition d'une nouvelle hau-

Figure 2
Présentation de l'interface de Pâtur'IN en mode dynamique comportant 5 parcelles et différents événements.



teur d'herbe dans la parcelle récoltée. Le logiciel recalcule ensuite pour les jours suivants l'évolution de la biomasse et de la hauteur à partir de la fonction *Croissance*.
De même, l'événement « Fertilisation azotée » a pour effet d'activer la fonction *Croissance* et de générer une nouvelle évolution de la biomasse sur la parcelle fertilisée.
Enfin, l'événement « Scission de parcelle » permet de générer une ou plusieurs sous-parcelles et d'envisager ainsi des destinées différentes pour chacune d'elles. Cet événement s'avère intéressant dans le cas de parcelles de surface importante qui nécessitent des réajustements en cours de saison de pâturage. Le jour de sa création, la parcelle-fille prend les caractéristiques de la parcelle-mère puis devient accessible pour d'autres événements.
Ecrit sous Microsoft Visual Basic pour Windows, Pâtur'IN est actuellement en cours de test à l'INRA. Ensuite, il nécessitera une mise à l'épreuve extérieure afin de valider ses principes, sa convivialité et ses fonctionnalités. Ce logiciel est encore sujet à des ajustements à la fois sur ses fonctions *Croissance* et *Ingestion* et leurs différents modèles emboîtés, mais aussi sur l'interface et les fichiers utilisateurs. La méthode proposée pour le suivi de la croissance de l'herbe basée sur l'utilisation de l'herbomètre devrait être réalisable en élevage. Utilisée au printemps 2000, elle s'est avérée pertinente même si pour certaines parcelles, suite aux mauvaises conditions de pâturage, la prévision a été trop éloignée de la réalité.

CONCLUSION

Ce logiciel, a été conçu par des zootechniciens afin d'anticiper pour mieux organiser la gestion des prairies pâturées. Il a été développé avec le souci d'utiliser au mieux les informations disponibles en élevage laitier. La connaissance précise de la biomasse disponible et la prévision de la croissance de l'herbe, parcelle par parcelle, reste les éléments les plus difficiles à appréhender.
Grâce à la gestion des principaux événements rencontrés en exploitation, Pâtur'IN permet de tester divers scénarios à différentes échelles de temps et d'espace avant la prise de décision réelle. A court terme, l'utilisateur peut déterminer le temps de séjour possible sur une parcelle donnée selon ses caractéristiques initiales. A moyen terme, le logiciel peut être utilisé pour tester l'impact de décisions importantes aux dates-clefs de la saison de pâturage. Enfin, des études sur des cas-types peuvent être réalisées afin de mettre en évidence l'influence de facteurs de variation tels que la croissance de l'herbe, la date de mise à l'herbe,...etc selon les systèmes fourragers et la place du pâturage dans l'exploitation.

Les auteurs tiennent particulièrement à remercier P.Y. Glorennec, G. Ambrozy et Anne Simon (INSA de Rennes) pour leur contribution à Pâtur'IN lors de la phase initiale du projet.

Duru M., Fiorelli J.L., Osty P.L, 1988. Fourrages, 113, 37-56.
Faverdin Ph., Hoden A., Coulon J.B., 1987. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 70, 133-152.
Hoden A., Micol D., Liénard G., Muller A., Peyraud J.L., 1986. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 63, 31-42.
Le Gallic Y., 2000. In Conduite des cultures fourragéres. ITCF (Ed), Journée technique de Nantes, France.
Lemaire G., 1987. Fourrages, 112, 325-344.
Maxwell T.J., Wright I.A., 1987. Fourrages, 112, 345-362.
Patterson D., 1998. Grass Budgeting Programme. [www.greenmount.ac.uk/grass/grzindex.htm]
Peyraud J.L., Comeron E.A., Wade M.H., Lemaire G., 1996. Ann. Zootech, 45, 201-217.
Peyraud J.L., Delaby L., Delagarde R., Marquis B., 1998. Renc. Rech. Ruminants, 5, 217-220.
Voisin A., 1957. Productivité de l'herbe. Flammarion (Ed). Coll. La Terre. 472 pages.
Wade M.H., 1991. Thèse de l'Université de Rennes 1, N° 615, soutenue le 1er Mars 1991, 70 pages.