

## Pâtur' IN : le pâturage des vaches laitières assisté par ordinateur

**L. Delaby, J.L. Peyraud, P. Faverdin**

**La gestion des parcelles pâturées et du troupeau laitier au pâturage nécessite anticipation et adaptation. L'éleveur doit prévoir l'alimentation de son troupeau à partir d'une ressource fourragère incertaine et réactive aux décisions qu'il prend. L'évaluation dynamique des conséquences de différents choix tactiques est difficile. Pâtur' IN, un gestionnaire de pâturage assisté par ordinateur, répond à ce besoin.**

### RÉSUMÉ

*Ce logiciel permet à la fois l'analyse du passé (en traçant le planning de pâturage et calculant différents bilans) et l'organisation du futur (en anticipant l'évolution du couvert végétal de chaque parcelle et l'utilisation de l'herbe par les animaux grâce à différents modèles mathématiques). L'originalité du logiciel réside dans l'actualisation de l'état des parcelles enregistré au cours de la saison de pâturage et la mise à jour de la grille de croissance décadaire de l'herbe, croissance estimée à l'herbomètre selon une méthode novatrice. Les flux de production d'herbe et de consommation par les troupeaux sont calculés chaque jour grâce à 2 fonctions qui n'utilisent que des informations accessibles en exploitation. Grâce à l'application de règles de décision variées et définies par l'utilisateur, Pâtur' IN permet de simuler le pâturage, la fauche, la fertilisation... et d'en analyser les conséquences, avant la prise de décision réelle.*

### MOTS CLÉS

Diagnostic, gestion du pâturage, logiciel. modélisation, pâturage, prévision, vache laitière.

### KEY-WORDS

Dairy cow, diagnosis, forecast, grazing, grazingmanagement, setting-up of models, software.

### AUTEURS

INRA ; UMR Production du Lait, F-35590 Saint-Gilles ; rn.él : delaby@st.gilles.rennes.inra.fr

Le contexte laitier des années 90 se caractérise par la limitation des volumes de production, l'agrandissement des surfaces des exploitations et l'apparition de l'encéphalite spongiforme bovine (ESB). Ces évolutions structurelles et médiatiques importantes incitent éleveurs, techniciens et enseignants à porter un nouveau regard sur le pâturage. En effet, l'alimentation des vaches laitières au pâturage bénéficie de nombreux atouts techniques et économiques et également d'une image très favorable. Mais le pâturage n'est pas le seul fait du troupeau qui broute. Le pâturage nécessite, de la part de l'éleveur, savoir-faire et intelligence (POCHON, 1993) pour optimiser à court terme la valorisation de l'herbe disponible et pour organiser à moyen terme la pérennité du système pâturé. En cela, la gestion des parcelles pâturées s'apparente à une gestion de flux concomitants d'offre et de demande que l'éleveur doit réguler : la croissance nette de l'herbe d'une part et l'ingestion du troupeau d'autre part (LEMAIRE, 1987 et 1999). Mais ces flux sont incertains et sujets aux réactions en chaîne sous l'influence de facteurs de production externes difficiles, voire impossibles, à contrôler (température, lumière, azote...) et d'événements déclenchés par l'éleveur lui-même sur les parcelles et/ou le troupeau.

Le pâturage et sa gestion ont suscité de nombreux travaux de recherche et de développement afin de définir des critères, des méthodes, des outils d'aide à la prévision et à l'organisation. Le plus ancien et le plus diffusé de ces critères reste sans doute le chargement, à savoir le nombre d'animaux qu'un hectare de prairie peut nourrir durant une période donnée. Ce critère global, issu d'expérimentations et de suivis de réseaux régionaux ou locaux, intègre à la fois la production et la consommation d'herbe. Il permet de définir des références utiles pour prévoir les surfaces nécessaires au troupeau par grande période de pâturage. Mais, trop intégratif, presque normatif, ce critère ne tient pas du tout compte des fluctuations de croissance de l'herbe, ni de l'effet des pratiques de pâturage sur la valorisation de l'herbe (CAILLAUD et al., 1991). Le chargement est en fait le résultat de la saison et des pratiques de pâturage ; il ne peut pas en être le déterminant.

Au cours des années 80, l'apparition en France de l'herbomètre à plateau a permis d'objectiver, en termes de hauteurs d'herbe, les recommandations en matière de valorisation de l'herbe par les vaches laitières au pâturage. Ces recommandations de hauteurs en entrée et sortie de parcelle sont plutôt des indicateurs destinés à gérer l'alimentation du troupeau sur la parcelle et ne constituent pas un outil d'aide à la gestion des parcelles et à la prévision du pâturage.

A la suite des travaux publiés par DURU et al. (1988) sur la notion de trésorerie fourragère (*budget farm*), un nouveau critère synthétique associé à une nouvelle méthode d'utilisation de l'herbomètre a été proposé et est aujourd'hui diffusé : le stock d'herbe disponible ou SHD (*farm grass cover*). Ce critère, sa méthode de calcul et ses règles d'utilisation sont à l'origine de divers outils développés et diffusés en France comme à l'étranger. En France, l'ITCF avec l'Herbo-Pocket@ propose la méthode Herb'ITCF (HARDY et al., 2001, même ouvrage). Le SHD est un indicateur utilisé en Bretagne dans les réseaux de fermes de référence (GRASSET et al. 1997). En Irlande, O'DONOVAN et al (1999) ont publié un fascicule méthodologique tandis que PATTERSON (1998) a élaboré une feuille de calcul du SHD, disponible sur Internet. Selon les mêmes principes, DURU et al. (2000) proposent d'utiliser comme indicateur le volume d'herbe disponible (VHD). Le stock (ou le volume) d'herbe disponible a le mérite indéniable d'être adapté aux spécificités locales et temporelles de l'exploitation puisqu'il doit être régulièrement mesuré au cours de la saison de pâturage. Ce critère, mieux que le chargement, intègre les pratiques de production d'herbe et de pâturage passées, fournit un état du disponible à un moment donné. Confronté à un référentiel, le SHD sert de guide aux éleveurs pour prendre les décisions aux dates clefs de la saison de pâturage : mise à l'herbe, fermeture de silo, fauche de parcelles... (DEQUIN et al., 1998). Mais il ne permet pas d'évaluer simplement les conséquences des différentes tactiques possibles qui s'offrent à l'éleveur, faute d'être une méthode dynamique d'anticipation.

Cet état des lieux met bien en évidence l'absence d'outil finalisé, à destination des éleveurs et intervenants en élevage, qui permettrait d'élaborer et de comparer à moyen terme différentes tactiques de pâturage. Ces tactiques doivent pouvoir être testées en dynamique afin d'en analyser *a priori* les conséquences.

A partir de l'expertise acquise par l'UMR 'Production du Lait' de l'INRA tant sur l'ingestion d'herbe par les vaches laitières au pâturage que sur la gestion des surfaces pâturées, nous avons développé un logiciel qui permet d'élaborer, étudier et choisir les itinéraires de pâturage opportuns et adaptés aux spécificités de chaque élevage. L'objectif de cet article est de présenter les fondements et fonctionnalités de Pâtur' IN, un gestionnaire de pâturage assisté par ordinateur.

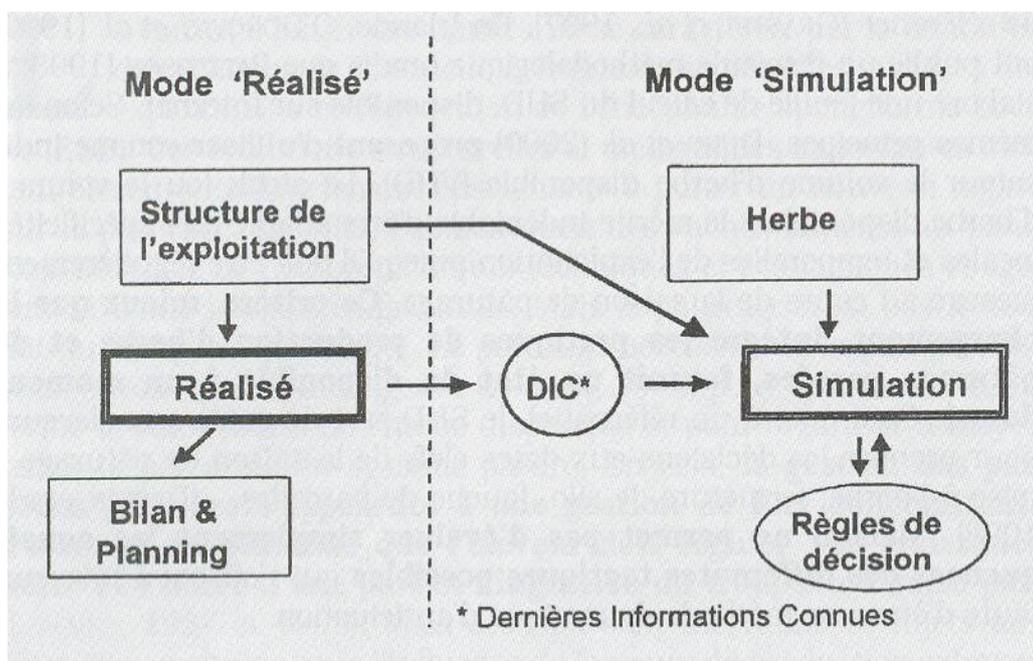
## 1. Spécifications et fonctionnalités de Pâtur' IN

### \* Présentation générale

L'objectif du gestionnaire de pâturage est de permettre à la fois l'analyse du passé et l'étude en dynamique de différentes tactiques possibles dans l'organisation future du pâturage. L'architecture générale du logiciel est présentée à la figure 1. Pâtur' IN fonctionne selon deux modes distincts : le mode "Réalisé" et le mode "Simulation". A partir de la structure de l'exploitation, qui comporte les parcelles, les troupeaux, les fourrages conservés et les concentrés disponibles, l'utilisateur enregistre régulièrement les événements réalisés durant la saison de pâturage. Les différents fichiers du mode "Réalisation" permettent le calcul du bilan de pâturage et l'affichage du planning de pâturage. Lors de chaque saisie d'informations sur le réalisé, le logiciel modifie le fichier DIC (Dernières Informations Connues) qui concerne les parcelles. En mode "Simulation", Pâtur' IN utilise les informations et paramètres concernant l'herbe et sa croissance pour simuler, sous la contrainte de règles de décision définies par l'utilisateur, l'effet de la combinaison d'événements consécutifs qui constituent la tactique de pâturage à évaluer. Le fichier DIC est alors utilisé afin d'initialiser les paramètres sur des données fiables, correspondant à un état connu des parcelles de l'exploitation.

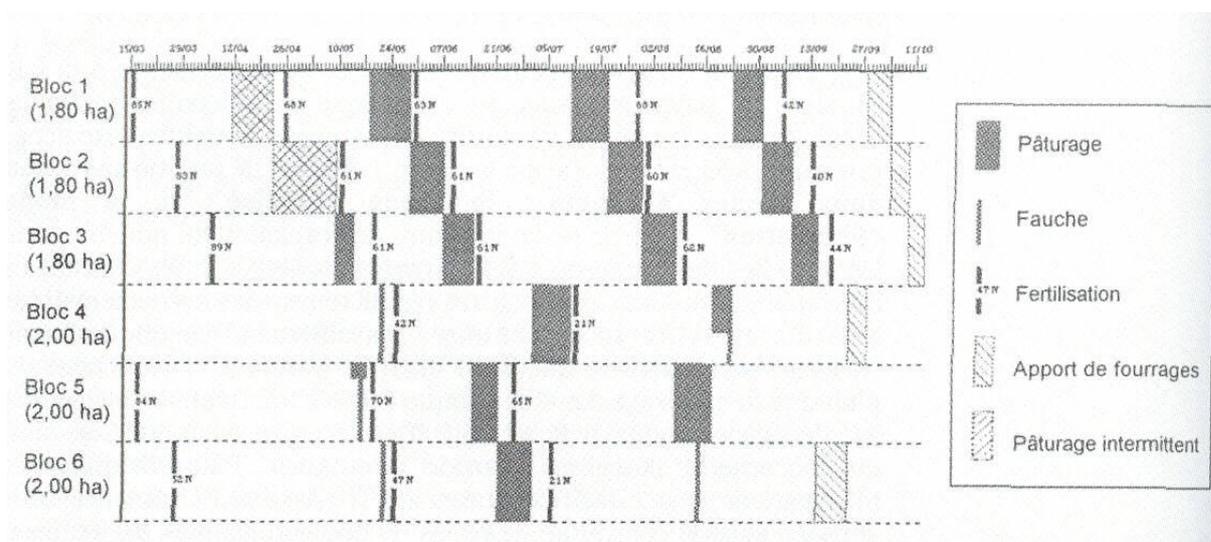
**FIGURE 1 : Organigramme du gestionnaire de pâturage Pâtur' IN.**

*FIGURE 1 : Flow diagram of the Pâtur' IN software.*



### \* L'analyse du réalisé : le bilan et le planning de pâturage

L'analyse d'une saison de pâturage s'appuie généralement sur le calcul de critères synthétiques, regroupés dans le bilan de pâturage, et sur la réalisation d'un graphique, appelé calendrier ou planning de pâturage. En France, les principes de calcul du bilan et de réalisation du planning ont été récapitulés par LEBRUN en 1983, puis modifiés et actualisés par HODEN et *al.* en 1986 et LEBRUN en 1991. Ces calculs, non automatisés, sont simples mais laborieux, sujets à erreurs et simplifications non concertées entre utilisateurs. En conséquence, l'analyse *a posteriori* de la saison de pâturage et de son déroulement qui pourrait, entre autres, être un outil précieux de réflexion collective entre éleveurs herbagers et techniciens, est peu pratiquée en France.

**FIGURE 2 : Un exemple de planning de pâturage (Le Pin-au-Haras, 2000).****FIGURE 2 : Example of a grazing plan (Le Pin-au-Haras, 2000).**

Pâtur' IN dispose d'un module "Bilan et Planning" qui permet de réaliser instantanément les calculs et le graphique du calendrier de pâturage, et ce de façon homogène entre exploitations. Outre la rapidité d'exécution et la standardisation des procédures de calcul, l'avantage évident de cette automatisation réside dans la possibilité de réaliser différents bilans, par parcelle ou groupe de parcelles, par type de troupeau, ou entre différentes dates ou périodes clefs telles que celles des différents cycles de pâturage ou des saisons. A titre d'exemple, la figure 2 présente le planning de pâturage réalisé sur le domaine du Pin-au-Haras en 2000, ainsi que les principaux critères du bilan global de pâturage (tableau 1).

**TABLEAU 1 : Principaux critères du bilan de pâturage (Le Pin-au-Haras, 2000).****TABLE 1 : Main criteria of the grazing schedule (Le Pin-au-Haras, 2000).**

<b>Pâturage</b>		<b>Récolte de fourrages</b>	
Date de début du pâturage	11/04/2000	Surface cumulée fauchée (ha)	8,4
Date de fin du pâturage	12/10/2000	Quantité cumulée récoltée (kg MS)	35 864
Durée cumulée de pâturage (jours)	175	Quantité récoltée / ha fauché (kg MS)	4 270
Nombre de parcelles pâturées	6	Quantité récoltée / ha total (kg MS)	3146
Surface maximale pâturée (ha)	11,4	<b>Fertilisation azotée (kg N)</b>	
Nombre total de jours de pâturage	5265	Nombre de parcelles fertilisées	6
Nombre de JP /ha pâturé (jours)	462	Surface totale fertilisée (ha)	11,4
Quantité de fourrages / ha pâturé (kg MS)	677	Quantité cumulée d'azote apportée	2 506
Quantité de concentré / ha pâturé (kg brut)	1 224	Quantité d'azote apportée / ha fertilisé	220
Quantité de lait produite / ha pâturé (kg)	10 190		

### \* L'organisation du futur : le simulateur de pâturage

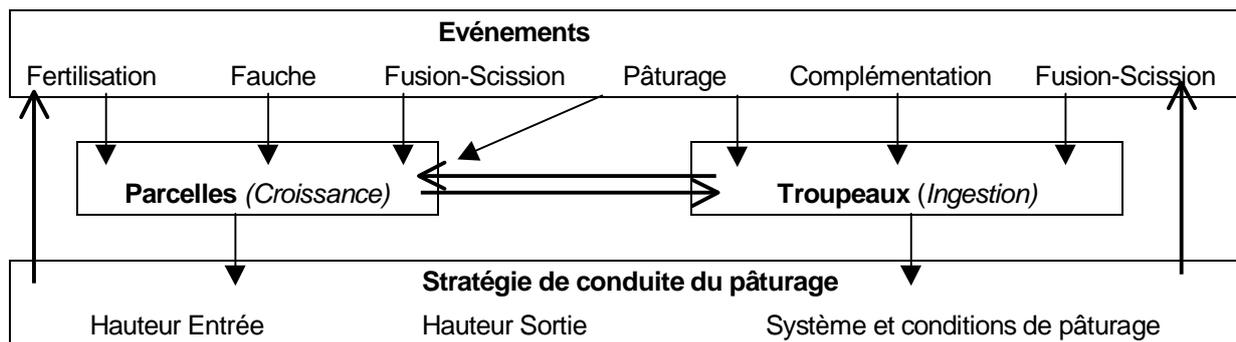
La simulation est réalisée à l'échelle [Jour - Troupeau - Parcelle] et les 2 variables clefs qui assurent la liaison entre tous les événements et les modèles sous-jacents sont la biomasse à 5 cm (B) et la hauteur de l'herbe (H) dans les parcelles. La densité (D) du couvert végétal, à savoir la quantité de matière sèche (MS) par cm et par hectare, permet au logiciel de passer de la biomasse à la hauteur ou de la hauteur à la biomasse, selon l'équation:  $B = (H - 5) \times D$ , avec B en kg MS/ha, H en cm et D en kg MS/cm/ha.

Toute simulation commence par la définition d'une date de début de simulation et d'une durée. Pâtur' IN calcule alors, jour après jour, l'évolution future de la biomasse et de la hauteur d'herbe de chaque parcelle en l'absence de toute intervention de l'éleveur. Pour cela, le logiciel utilise les dernières informations connues (DIC) de chaque parcelle, qui constituent un point initial solide, et la fonction "Croissance" de l'herbe. Ces DIC sont d'une part les variables d'état de la parcelle (hauteur, biomasse) à une date donnée et d'autre part l'éventuel dernier apport d'azote réalisé (date, quantité épandue). L'état des parcelles figurant au fichier DIC peut, à titre exemple, être issu d'une mesure de SHD sur l'ensemble de la sole pâturée réalisée juste avant une simulation.

Ensuite, l'utilisateur déclenche sur chaque parcelle les événements dont il souhaite évaluer les conséquences. Un événement est composé d'une action et d'une date. Les événements gérés par Pâtur' IN sont, pour les parcelles : le pâturage, la fertilisation, la fauche, la fauche des refus et la scission ou la fusion de parcelles et, pour les troupeaux : le pâturage, l'apport d'aliments complémentaires, l'effectif d'animaux. Ces événements agissent alors sur les 2 fonctions biologiques de Pâtur' IN : la fonction "Croissance" de l'herbe pour les parcelles et la fonction "Ingestion" d'herbe pour les troupeaux. Les différents événements sont sous le contrôle de règles de décision, définies par l'éleveur, mais sont également influencés par l'état évolutif des parcelles et des troupeaux induit par les fonctions "Croissance" et "Ingestion" (figure 3). Après la réalisation d'un événement, Pâtur' IN en intègre les conséquences pour la parcelle et recalcule l'évolution de la biomasse et de la hauteur jusqu'au prochain événement.

**FIGURE 3 : Représentation fonctionnelle d'une simulation.**

**FIGURE 3 : Functional diagram of simulation.**



Les événements "Fauche" et "Fauche des refus" ont pour conséquence la définition d'un nouvel état de la parcelle (biomasse et hauteur résiduelles), à partir duquel Pâtur' IN recalcule l'évolution du couvert végétal. L'événement "Fertilisation azotée" agit directement sur la fonction "Croissance" et modifie ensuite la biomasse et la hauteur de la parcelle fertilisée. L'événement "Scission de parcelle" a pour conséquence la naissance d'une parcelle-fille, qui prend comme valeurs de biomasse et hauteur initiales, celles de la parcelle-mère. Cette nouvelle parcelle acquiert son indépendance et évolue ensuite selon ses propres événements.

L'événement "Pâturage" est l'événement le plus complexe à simuler. En effet, il s'agit de gérer à la fois l'herbe et le troupeau dans la même parcelle. L'objectif à atteindre diffère selon le système de pâturage choisi. En pâturage rationné, l'algorithme doit déterminer la surface à offrir au troupeau chaque jour tandis que la croissance de l'herbe continue sur le reste de la parcelle. En pâturage tournant, il s'agit de déterminer le temps de séjour possible sur la parcelle en intégrant une diminution progressive de la croissance de l'herbe associée à la défoliation du couvert végétal par l'animal. D'autre part, la solution au problème n'est pas unique puisqu'elle dépend des règles de décision définies par l'utilisateur (tableau 2). Pâtur' IN propose de choisir entre différentes règles de décision. L'utilisateur définit tout d'abord une hauteur minimale et une hauteur maximale de part et d'autre de laquelle le troupeau ne pourra pas ou plus accéder à la parcelle pour pâturer. Puis, l'utilisateur impose la règle de décision de son choix qui finalement déterminera les conditions de valorisation de la parcelle :

- une hauteur objectif en sortie de parcelle, constante pour toutes les parcelles à certaines périodes de l'année ;

**TABLEAU 2 :** Conséquences de règles de décision différentes sur le déroulement du pâturage d'une même parcelle (2 300 kg MS et 14,2 cm de hauteur d'herbe à l'entrée ; 2,0 ha ; 36 vaches à 29 kg de lait et 3 kg de concentré).

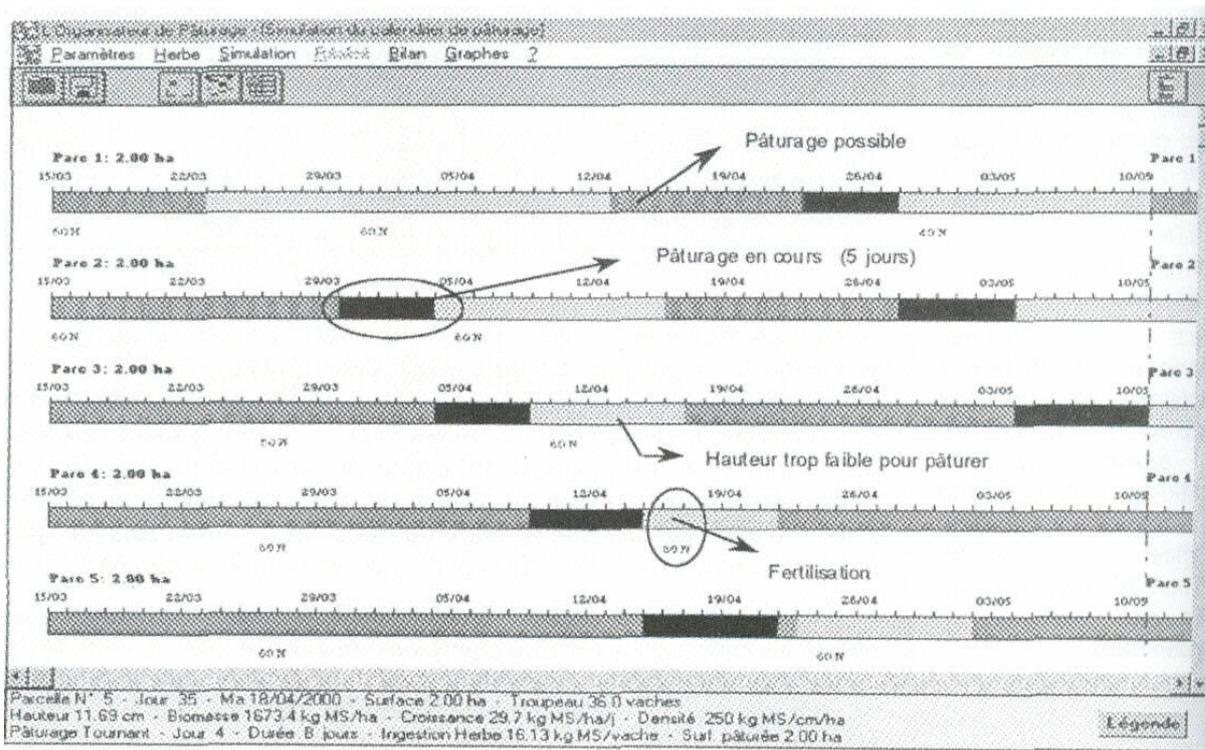
**TABLE 2 :** Consequences of different decision rules on the grazing progress on a same paddock (2 300 kg DM and 14.2 cm of pre-grazing biomass and height ; 2.0 ha ; 36 cows at 29 kg milk and with 3 kg concentrate).

Règle de décision	Hauteur Sortie de 5 cm	18 kg MS offerts	Utilisation libérale
Durée (jours)	9	7	6
Hauteur Sortie (HS en cm)	5,1	6,8	7,9
Herbe Ingérée moyenne (kg MS/j)	15,4	16,3	16,4
Herbe Ingérée du dernier jour (kg MS)	10,8	15,4	16,0

- une hauteur objectif en sortie de parcelle, spécifique de chaque passage du troupeau sur la parcelle;
- une intensité de valorisation de l'herbe présente qui se décline en 3 possibilités : Normale, Sévère (- 1 cm par rapport à Normale) ou Libérale (+1 cm par rapport à Normale) ; le logiciel calcule alors la hauteur en sortie de parcelle ;
- une quantité d'herbe offerte par vache et par jour au-dessus de 5 cm de hauteur ;
- un temps de séjour prédéterminé sur la parcelle.

**FIGURE 4 :** Présentation de l'interface de Pâtur' IN correspondant à la simulation du pâturage successif de 5 parcelles.

**FIGURE 4 :** Screen copy of a rotational grazing simulation on 5 successive paddocks by Pâtur' IN software.



Le logiciel va ensuite essayer de satisfaire la contrainte définie par l'utilisateur en veillant toutefois à la compatibilité de cette contrainte avec l'état initial de la parcelle. Pour cela, Pâtur' IN calcule une hauteur de sortie minimale (HSmin) en deçà de laquelle l'ingestion devient théoriquement nulle. Cette HSmin dépend de la hauteur en entrée (HE) de parcelle selon l'équation :  $HSmin = 3 - 0,1 HE + 0,015 HE^2$  avec HSmin et HE en cm. La solution obtenue détermine finalement le temps de séjour possible du troupeau sur cette parcelle. Après la sortie des animaux, Pâtur' IN recalcule l'évolution de la biomasse et de la hauteur jusqu'au prochain événement. Parcelle par parcelle, l'utilisateur peut ainsi "dérouler" les séquences de pâturage et visualiser à l'écran les conséquences de la tactique choisie (figure 4).

## 2. L'adaptation des fonctions biologiques

### "Croissance" et "Ingestion" d'herbe

L'ensemble des événements décrits ci-dessus modifie l'état du couvert végétal et son évolution jour après jour. Ces variations d'état sont calculées grâce à 2 fonctions : "Croissance" et "Ingestion". Ces 2 fonctions sont conçues comme une succession d'équations décrivant les phénomènes biologiques sous-jacents.

#### \* Croissance de l'herbe

La croissance d'un peuplement prairial dépend du rayonnement intercepté, lui-même fonction de l'indice foliaire et du coefficient de conversion de ce rayonnement en biomasse (PARSONS *et al.*, 1988 ; LEMAIRE et ALLIRAND, 1993). Les différents coefficients ou modèles décrivant cette loi générale dépendent, eux, des conditions de milieu et surtout de la température, de la disponibilité en eau et en azote. Il est aujourd'hui impossible de mobiliser ces modèles, parfois très complexes, pour anticiper et organiser au quotidien le pâturage d'un troupeau. De plus, les choix conceptuels de Pâtur' IN imposent de pouvoir actualiser régulièrement la simulation à partir du réalisé, notamment ce qui concerne la croissance de l'herbe. Dans ces conditions, une approche différente a été imaginée.

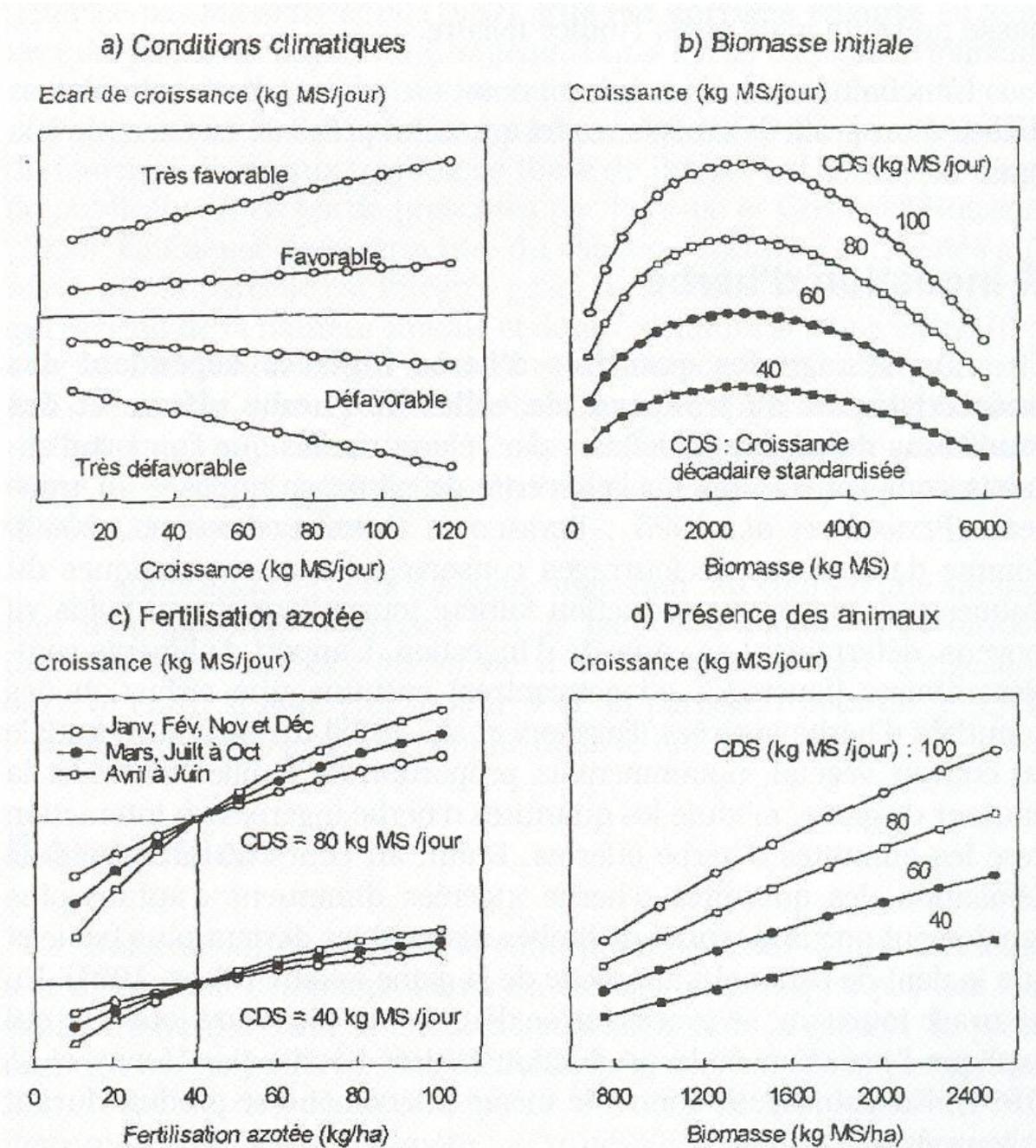
Cette méthode repose sur une grille de Croissance Décadaire Standardisée (CDS) et sur un jeu d'équations qui permet d'adapter cette CDS à la parcelle. Par convention, la CDS est définie comme la croissance d'une prairie de ray-grass anglais, de 1 250 kg MS de biomasse, de 10 cm de hauteur et fertilisée à raison de 40 kg N/ha.

La grille de croissance décadaire standardisée est construite à partir de références locales, à dire d'expert ou mieux encore à partir de mesures de croissance de l'herbe en temps réel sur les parcelles. Faute de disposer d'un réseau de mesures tel qu'il en existe dans d'autres pays européens (CORRAL et FENLON, 1978) et pour prendre en compte les spécificités de l'exploitation et du déroulement de la saison de pâturage, une utilisation novatrice de l'herbomètre est proposée. Elle consiste à mesurer, à 10 jours d'intervalle environ, l'évolution de la hauteur de l'herbe sur 2 ou 3 zones de surface limitée (100 x 20 m<sup>2</sup>) réparties sur différentes parcelles de l'exploitation. L'estimation de la croissance journalière est obtenue par différence entre deux hauteurs successives, en admettant une densité D de la parcelle. Grâce à un algorithme de convergence, qui intègre les paramètres de la parcelle et de la décade, le logiciel calcule ensuite quelle est la croissance décadaire standardisée qui a permis d'obtenir la croissance journalière estimée à l'herbomètre dans la zone de mesure.

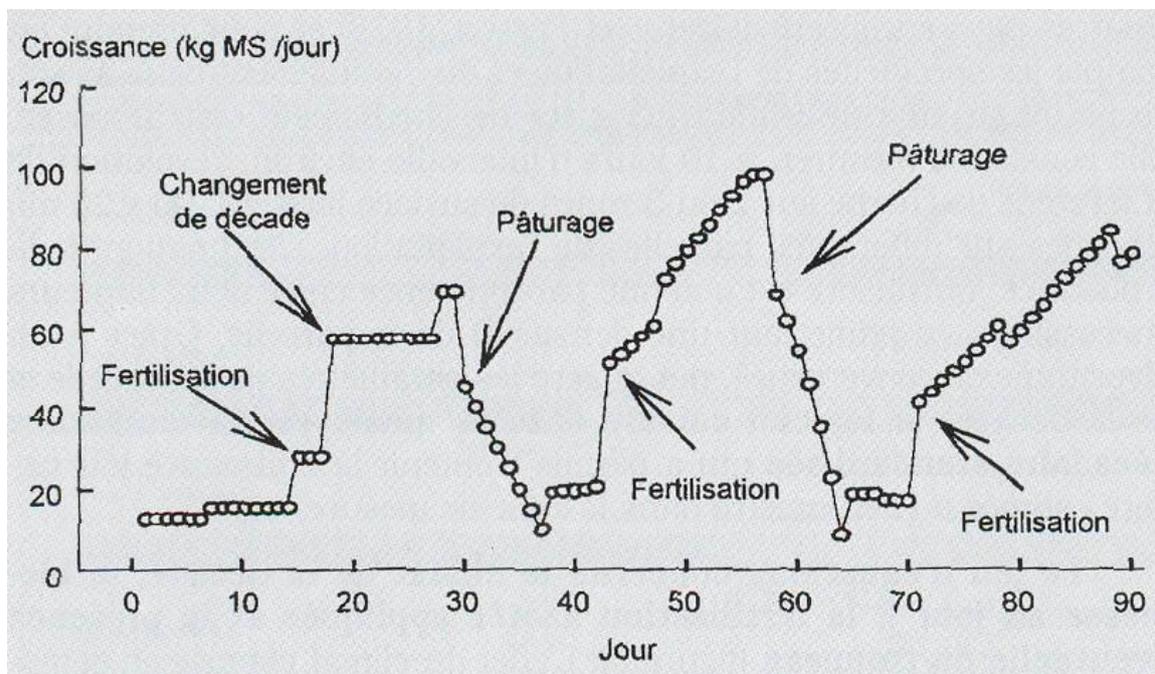
Le jeu d'équations concerne le climat de la décade, la biomasse au jour j, la fertilisation azotée appliquée et la présence éventuelle du troupeau (figure 5). L'effet du climat est pris en compte à partir d'une description globale en référence aux normales saisonnières de la décade : très défavorable, défavorable, normale, favorable et très favorable. La biomasse présente modifie la CDS selon une équation de type logistique. L'influence de cette équation sur la CDS est conséquente si la biomasse est inférieure à 1 250 ou supérieure à 3 500 kg MS/ha. La fertilisation azotée est définie comme efficace entre 5 jours et 60 jours après l'apport. Une famille de 3 équations exponentielles, centrées sur 40 kg N/ha apportés, permet de distinguer 3 grandes périodes de l'année en termes d'efficacité de l'azote sur la productivité de la parcelle. Enfin, en pâturage tournant, la présence des animaux influence à la baisse la croissance standardisée dans la mesure où la consommation d'herbe diminue régulièrement la biomasse présente mais aussi l'indice foliaire.

**FIGURE 5 : Représentation graphique des équations de la fonction "Croissance" : a) conditions climatiques, b) biomasse initiale, c) fertilisation azotée, d) présence des animaux.**

**FIGURE 5 : Curves of the equations of the 'Grass growth' function : a) climatic conditions, b) initial biomass, c) nitrogen fertilization, d) presence of animals.**



L'enchaînement des événements au cours d'une simulation aboutit à un profil de croissance tel que celui présenté en exemple à la figure 6.

**FIGURE 6 : Profil de croissance d'une parcelle au cours d'une simulation de 90 jours.****FIGURE 6 : Grass growth profile on a field paddock in a 90-days simulation.**

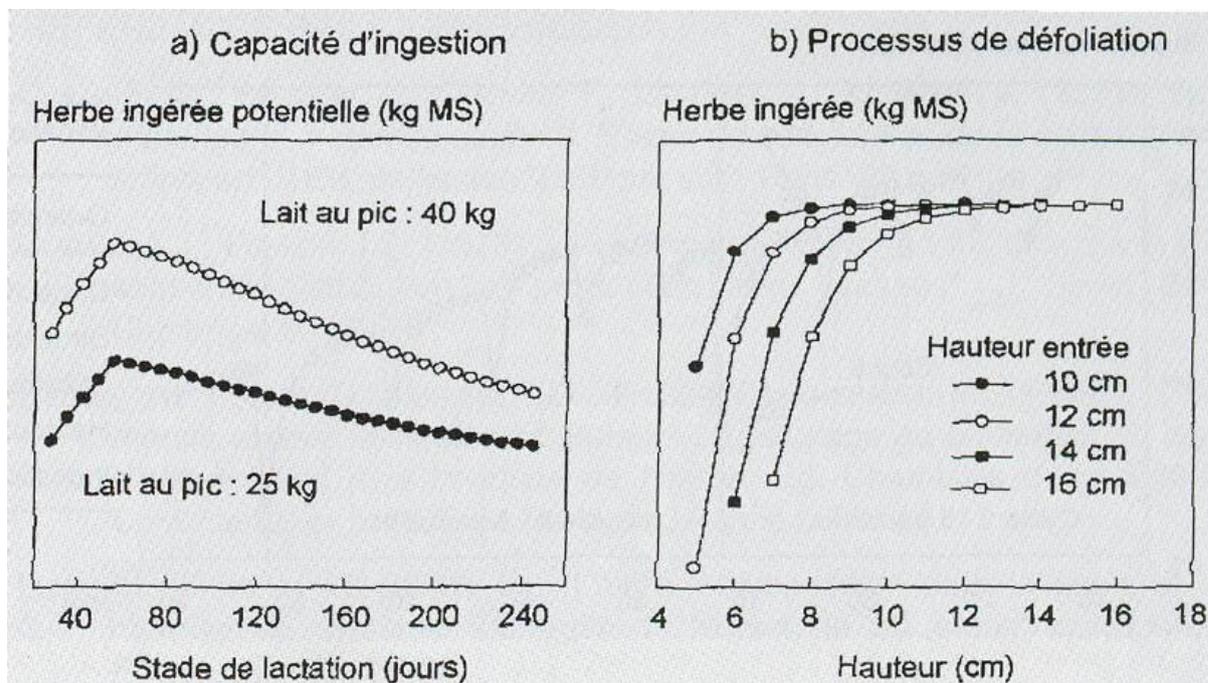
### \* Ingestion d'herbe

Au pâturage, les quantités d'herbe ingérées dépendent des caractéristiques du troupeau, de celles de l'herbe offerte et des conditions de pâturage définies par l'éleveur telles que l'apport d'aliments complémentaires ou la sévérité de pâturage imposée au troupeau (PEYRAUD *et al.*, 1995 ; PEYRAUD et GONZALEZ-RODRIGEZ, 2000). Comme dans le cas de fourrages conservés, les caractéristiques du troupeau, à savoir sa production laitière journalière et son poids vif moyens, déterminent sa capacité d'ingestion. L'apport d'aliments complémentaires (fourrages ou concentrés) entraîne une réduction des quantités d'herbe ingérées (FAVERDIN *et al.*, 1988). La structure initiale du couvert végétal, notamment la proportion de feuilles vertes et la hauteur de gaine, module les quantités d'herbe ingérées en interaction avec les quantités d'herbe offertes. Enfin, au cours du processus de défoliation, les quantités d'herbe ingérées diminuent d'autant plus rapidement que la quantité de limbes disponibles devient plus faible et que la dent de l'animal s'approche de la gaine foliaire (WADE, 1991). En pâturage tournant, ce processus se déroule sur plusieurs jours, ce qui explique l'évolution de la production laitière décrite par HODEN *et al.* (1991). En pâturage rationné, le même phénomène se produit durant la journée.

Pour intégrer l'ensemble de ces facteurs, Pâtur' IN traduit d'abord la capacité d'ingestion en quantité d'herbe ingérée potentielle qui correspond à l'ingestion d'herbe en l'absence de tout facteur limitant (figure 7). Cette quantité ingérée potentielle est calculée à partir de la production laitière maximale du troupeau et de son stade moyen de lactation selon l'équation proposée par WOOD en 1967 et détaillée par MASSELIN *et al.* (1987). Elle est corrigée ensuite en fonction du poids vif moyen du troupeau. Dans le cas d'apport d'aliments complémentaires, la substitution est prise en compte grâce à un coefficient constant de 0,5 pour les concentrés et de 0,9 fois la valeur UEL du fourrage. Suite aux travaux de thèse de PARGA *et al.* (2000, en cours de publication), en partie présentés par PEYRAUD et GONZALEZ-RODRIGEZ (2000), l'influence de la structure du couvert végétal à l'entrée des animaux sur la parcelle est intégrée grâce à un modèle linéaire segmenté qui dépend de la hauteur initiale et dont l'optimum se situe entre 10 et 14 cm. L'ingestion chute de part et d'autre de cette zone optimale. Enfin, une équation exponentielle basée sur le rapport entre la hauteur restant à consommer au jour  $j$  et la hauteur totale consommable en début de parcelle traduit l'effet négatif de la défoliation par strates successives de l'herbe offerte.

**FIGURE 7 : Représentation graphique des équations de la fonction "Ingestion" : a) capacité d'ingestion, b) processus de défoliation.**

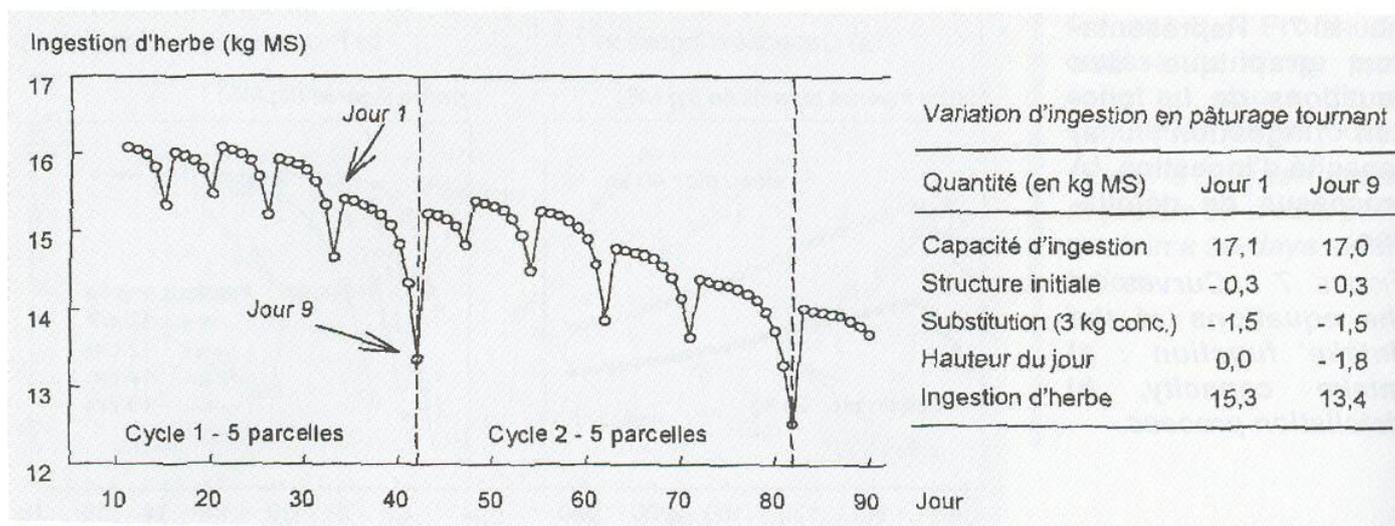
**FIGURE 7 : Curves of the equations of the 'Intake' function : a) intake capacity, b) defoliation process.**



L'application de cette fonction "Ingestion" au cours d'une simulation d'un pâturage tournant sur 5 parcelles aboutit à l'évolution des quantités ingérées présentée à la figure 8. L'écart d'ingestion observé entre le jour 1 et le jour 9 de la parcelle 5 lors du 1er cycle (- 2 kg MS/vache/jour) est détaillé dans le tableau associé.

**FIGURE 8 : Profil de consommation d'herbe d'un troupeau en pâturage tournant au cours d'une simulation de 90 jours.**

**FIGURE 8 : Herbage intake profile during a 5 rotational grazing paddocks in a 90-days simulation.**



## Conclusion

L'objectif affirmé lors de la conception de Pâtur' IN est de mettre à la disposition des intervenants en élevage, et pourquoi pas des éleveurs, un outil d'étude et d'aide à la décision dans la gestion du pâturage des vaches laitières. Une méthode originale, basée sur l'actualisation fréquente des données à partir du vécu de l'exploitation et de mesures réalisées à l'herbomètre, a été développée afin de bien prendre en compte la spécificité de chaque élevage et de chaque saison de pâturage. Loin de "virtualiser" le pâturage, cette méthode impose donc des visites fréquentes aux troupeaux et aux parcelles pâturées. Néanmoins, cette méthode et les équations des fonctions "Croissance" et "Ingestion" doivent être à la fois validées et améliorées par des tests en élevages et en fermes expérimentales. Ce logiciel fournit aussi un cadre conceptuel prêt à recevoir toute nouvelle information issue de la recherche sur les flux de croissance et d'ingestion.

Avec Pâtur' IN, la majorité des événements réalisables au cours d'une saison de pâturage peuvent être préalablement envisagés. Ainsi, l'utilisateur peut évaluer en temps réel différentes tactiques à court ou moyen terme à l'échelle de la parcelle ou de la sole pâturée, ou réaliser l'étude de modifications plus importantes de ses pratiques de pâturage. A l'avenir, ce logiciel devrait également devenir un support de réflexion et ainsi contribuer au développement en France d'une culture volontariste autour de la conduite des vaches laitières au pâturage.

Travail présenté aux Journées d'information de l'A.F.P.F.  
"Nouveaux regards sur le pâturage".  
les 21 et 22 mars 2001.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CAILLAUD D., PFLIMLIN A., CHENAIS F., LE GALL A., LEGARTO J. (1991) : *Le pâturage des vaches laitières. Bases de conduite et de la complémentation*, éd. ITEB, collection "Le Point sur", Paris, 92 p.

CORALL A.J., FENLON J.S. (1978) : "A comparative method for describing the seasonal distribution of production from grasses", *J. agric. Sci.*, Cambridge, 91, 61-67.

DEQUIN A., FOLLET D., GRASSET M., ROGER P., THEBAULT M. (1998) : *Cinq menus vaches laitières au pâturage. Le pâturage au quotidien, du plan d'alimentation à la conduite de l'herbe*, Ed. Chambres d'Agriculture, Contrôle laitier et EDE de Bretagne, Rennes, France, 11 p.

DURU M., FIORELLI J.L., OSTY P.L. (1988) : "Proposition pour le choix et la maîtrise du système fourrager. 1- Notion de trésorerie fourragère", *Fourrages*, 113, 37-56.

DURU M., DUCROCO H., BOSSUET L. (2000) : "Herbage volume per animal : a tool for rotational grazing management", *J. Range Manag.*, 53, 395-402.

FAVERDIN P., HODEN A., COULON J.B. (1988) : "Recommandations alimentaires pour les vaches laitières", *Bull. Tech. CRZV de Theix, INRA*, 70, 133-152.

GRASSET M., ROGER P., DEQUIN A., FOLLET D., THEBAULT M., BERKANI M.E., LE GALL A. (1997) : "Etude des systèmes fourragers laitiers maximisant le pâturage en Bretagne : synthèse des résultats 1995 et 1996, analyse du fonctionnement et mise au point d'indicateurs", *Renc. Rech. Ruminants*, 4, 9-14.

HODEN A., MICOL D., LIÉNARD G., MULLER A., PEYRAUD J.L. (1986) : "Interprétation des essais de pâturage avec des bovins : terminologie, modes de calcul et bilans annuels", *Bull. Tech. CRZV, Theix, INRA*, 63, 31-42.

HODEN A., MULLER A., PEYRAUD J.L., DELABY L., FAVERDIN P. (1991) : "Pâturage pour vaches laitières. Effets du chargement et de la complémentation en pâturage tournant simplifié", *INRA Prado Anim.*, 4(3), 229-239.

LEBRUN V. (1983 et 1991) : *Comment gérer le pâturage*, éd. ITEB, collection "Le point sur", Paris, 64 p.

LEMAIRE G. (1987) : "Physiologie de la croissance de l'herbe : applications au pâturage", *Fourrages*, 112, 325-344.

- LEMAIRE G. (1999) : "Les flux de tissus foliaires au sein des peuplements prairiaux. Eléments pour une conduite raisonnée du pâturage", *Fourrages*, 159,203-222.
- LEMAIRE G., ALLIRAND J.M. (1993) : "Relation entre croissance et qualité de la luzerne : interaction génotype-mode d'exploitation", *Fourrages*, 134, 183-198.
- MASSELIN S., SAUVANT D., CHAPOUTOT P., MILAN D. (1987) : "Les modèles d'ajustement des courbes de lactation", *Ann. Zootech.*, 36(2),171-206.
- O'DONOVAN M., DILLON P., STAKELUM G. (1999) : *Grassland measurement. Benefits and guidelines*, ed. Teagasc, Moorepark, Fermoy, Ireland, 24 p.
- PARGA J., PEYRAUD J.L., DELAGARDE R. (2000) : "Effect of sward structure and herbage allowance on herbage intake and digestion by strip-grazing dairy cows", *Grazing management*, eds. Rook A.J. and Penning P.D., Okehampton, Devon, United Kingdom, *BGS Dcc. Symp.*, n034, 61-66.
- PARSONS A.J., JOHNSON I.R., HARVEY A. (1988) : "Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass", *Grass and Forage Sci.*, 43, 49-59.
- PATTERSON D. (1998) : Grass budgeting programme, [www.9ree.nmou.nt.ac.uk/9rassi9rzi/index.htm]
- PEYRAUD J.L., DELAGARDE R., DELABY L. (1995) : "Influence des conditions d'exploitation du pâturage et des caractéristiques animales sur les quantités ingérées par les vaches laitières : analyse et prévision", *Renc. Rech. Ruminants*, 2, 37-44.
- PEYRAUD J.L., GONZALEZ-RODRIGEZ A. (2000) : "Relations between grass production, supplementation and intake in grazing dairy cows", *Grassland Farming*, eds Soegaard K. et al., 18'h EGF General meeting, Aalborg, Denmark, 269-282.
- POCHON A. (1993) : *La prairie temporaire à base de trèfle blanc, 35 années de pratique d'un éleveur breton*, éd. CEDAPA, F-22190 Plérin, 118 p.
- WADE M. (1991) : *Factors affecting the availability of vegetative Lolium perenne to grazing dairy cows with special reference to sward characteristics, stacking rate and grazing method*, thèse de l'Université de Rennes I, n° ordre 615, 70 p.
- WOOD P.D.P. (1967) : "Algebraic model of the lactation curve in cattle", *Nature*, 216,164-165.

## SUMMARY

### **Pâtur' IN : Computer-assisted grazing of dairy cows**

Dairy cows grazing management require anticipation and adaptation. The breeder has to anticipate the herd feeding with an uncertain and reactive forage resource. The consequences entailed by different tactical options are difficult to evaluate. The software, Pâtur' IN, designed to grazing management, met to this problem. This software enable to analyse the past (by drawing grazing plan and calculating different grazing schedule) and to organize the future (by calculating with different mathematical models the grass growth and herbage utilisation). The originality of the software lies in the updating of the paddock state recorded during the grazing season and of the decade grass growth grid, with an innovating method based on platometer measurements. The 'Growth' function is initialized with the grass growth grid and calculate, day per day, the specific paddock grass growth according to the actual biomass, the level of fertilization applied, etc. The 'Intake' function, working with simple herd information like milk potential, calving date, supplementary feeding and with the simulated grass heights, determines the possible grazing duration on each paddock, according to the grazing conditions define by the Pâtur' IN user. Thanks to large and varied decision rules, Pâtur' IN make it possible to simulate grazing, moving, fertilization, etc. and to study several *scenarii* at different scales of time and space before making the decision.