

Approches du système fourrager par simulation

X. Le Bris¹, M. Duru²

L'étude des systèmes fourragers peut être réalisée à plusieurs niveaux et à plusieurs échelles. Après les approches du système fourrager à partir d'enquêtes, de suivis et de typologies d'exploitations, ou à partir d'expérimentations, présentées dans ce même numéro par CAPILLON et al., puis par GAILLARD, nous exposerons une approche complémentaire : la simulation.

Les études de terrain (suivis, enquêtes, expérimentation) ne sont pas une fin en soi : les observations et les résultats doivent être traduits sous forme simplifiée, c'est-à-dire sous forme de modèles, si on admet qu'un modèle se définit comme étant une représentation toujours simplifiée du réel (HONORÉ, 1985).

Pour répondre aux questions qui sont posées aux chercheurs et aux techniciens de l'agriculture, on est donc amené soit à faire état des solutions lorsqu'elles existent, soit à faire appel aux méthodes de simulation, autrement dit à utiliser de façon cohérente les divers modèles existants (figure 1). Dans cette optique, la simulation apparaît comme le prolongement indispensable des types d'approches qui ont été précédemment décrits (suivis, enquêtes et expérimentation).

MOTS CLÉS

Fourrage, modélisation, simulation, système fourrager.

KEY-WORDS

Forage, forage system, setting-up of models, simulation.

AUTEURS

¹ Institut Technique des Céréales et des Fourrages, Station de La Jaillière, La Chapelle Saint-Sauveur, F 44370 Varades.

² Institut National de la Recherche Agronomique, Centre de Recherches de Toulouse, BP 27, F 31326 Castanet Tolosan Cedex.

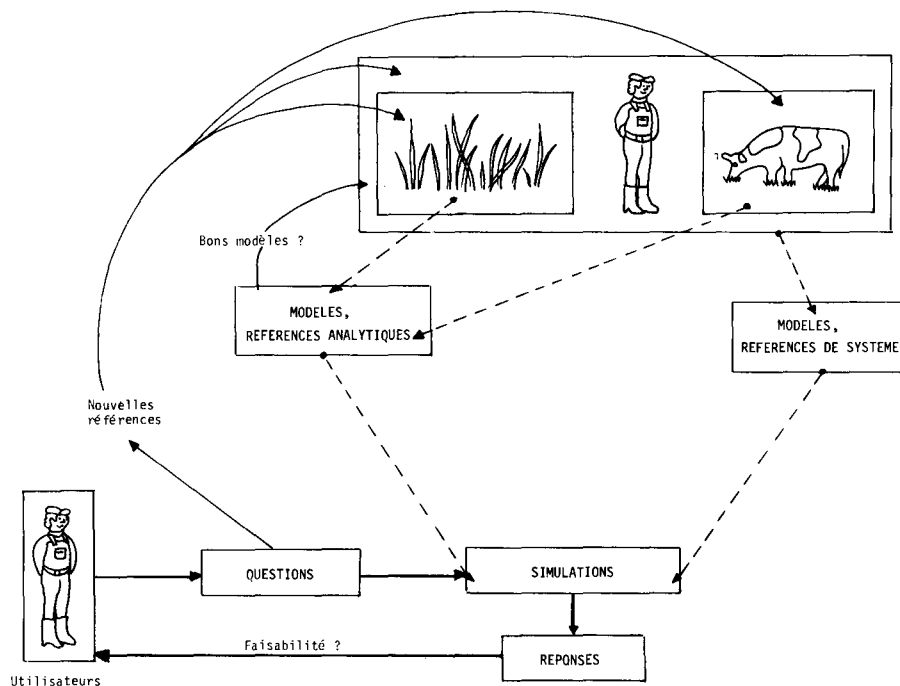


FIGURE 1 : La simulation : au centre de l'étude des systèmes fourragers

FIGURE 1 : Simulation : at the centre of forage system studies

Toutefois, les réponses et les solutions issues de ces simulations restent théoriques : elles doivent donc être utilisées avec discernement. Dans tous les cas, elles doivent être confrontées à la réalité : on s'attachera par conséquent à étudier la « faisabilité » des solutions proposées, surtout si elles sont novatrices.

Dans une première partie nous verrons quels sont les types de questions posées et les méthodes couramment utilisées pour les simulations, puis nous présenterons dans une deuxième partie les approches récentes dont la caractéristique est d'utiliser des modèles climatiques.

Comment étudier et comparer des systèmes fourragers ?

● Quelles questions ?

Les études et les actions menées par les agents de la recherche et du développement ont pour but de répondre à des questions de nature très variée :

- Pour un agriculteur, comment élaborer et comparer différents projets ? Quelles sont ses marges de progrès (maîtrise du système) ?
- Au niveau d'une région, comment répondre à des questions générales telles que « Faut-il faire du lait d'hiver ou du lait d'été ? » ou « Quel est l'intérêt des légumineuses dans les systèmes laitiers ? »
- Avant de réaliser un essai, comment positionner différentes techniques, les unes par rapport aux autres, afin de hiérarchiser les thèmes expérimentaux possibles.
- A la suite d'expérimentations, comment traduire les résultats techniques en résultats économiques ?
 - Quel est, a priori, l'intérêt d'une nouvelle technique ?
 - Quelles sont les répercussions économiques prévisibles à la suite d'un changement de contexte agricole ?

● **Quels utilisateurs ?**

Ces questions émanent bien entendu des agriculteurs mais également de leurs organisations professionnelles, de leurs conseillers, des organismes économiques, des instituts de recherche, des formateurs ainsi que des responsables politiques.

Dans tous les cas, il s'agit d'apporter un certain nombre de points de repères pour analyser une situation, ainsi que de fournir une vision générale d'un problème, car il est impossible d'étudier de façon exhaustive toutes les solutions possibles dans chaque exploitation.

● **L'exploitation : une dimension indispensable pour l'étude du système fourrager**

Pour répondre aux questions évoquées précédemment, il est généralement nécessaire de prendre en compte l'ensemble du système fourrager.

On peut illustrer brièvement cette notion de système au travers d'un exemple. Imaginons que dans une région donnée, on s'interroge sur l'intérêt d'avancer la date de fauche des prairies au printemps. Pour cela, il faut impérativement déterminer les conséquences sur le rendement (à moins de modifier la fumure azotée), la production fourragère des repousses ultérieures, les pertes, la valeur alimentaire, le niveau d'ingestion... Toutes ces répercussions vont se traduire à plusieurs niveaux du système fourrager : gestion du pâturage, surfaces à récolter, rations hivernales, complémentation. Négliger tel ou tel élément serait hasardeux. Il faut

par conséquent comparer un système fourrager complet reposant sur une fauche précoce à un autre système bâti sur une fauche tardive.

Le cadre du système fourrager est bien souvent insuffisant ; ainsi dans notre exemple, peuvent également intervenir des modifications dans la surface fourragère (variation de chargement), dans l'organisation du travail (concurrence avec d'autres travaux) ou dans les investissements (séchage en grange). C'est alors l'ensemble de l'exploitation qu'il faudra prendre en compte. *Rares sont les cas où l'on peut se dispenser d'un raisonnement au niveau du système fourrager placé au sein d'un système d'exploitation.*

Les approches classiques

Les méthodes d'étude des systèmes fourragers et des systèmes d'exploitation varient selon les questions posées :

— Un premier type d'études se situe sur un plan essentiellement économique et financier. Le but est de réaliser des études de changement de système et surtout des stratégies de financement. Ce sont toutes les études réalisées avec des outils tels que PBC, Explore, SIM70... Ces méthodes sont largement employées dans les Chambres d'Agriculture et les Centres de Gestion pour des études de cas particuliers d'exploitations (projets d'installation, plans de modernisation) ainsi que des simulations à caractère général de politique de financement (Crédit Agricole). Ces études ont pour particularité d'être *très pauvres sur le plan technique* et d'avoir *une vision très simplifiée de l'exploitation*. Ces méthodes et les outils correspondants sont assez bien connus et décrits à plusieurs reprises ; citons par exemple GUICHARD et al. (1972).

— Le deuxième grand type d'études répond à d'autres préoccupations : ce sont des études à caractère essentiellement technico-économique dont le but est de comparer des techniques ou des systèmes fourragers pour un type d'exploitation d'une région agricole. Dans ce cas, on s'affranchit des contraintes particulières d'une exploitation donnée et le raisonnement se fait sur une exploitation « type », élaborée à partir d'observations en ferme, des analyses de groupe de Centre de Gestion, ou de typologies. On suppose qu'elle est en « vitesse de croisière », c'est-à-dire en situation stable dans ses structures et ses objectifs (CAPILLON et al., 1979). On considère l'hypothèse d'une année climatique donnée (année moyenne en général).

Il faut bien comprendre que ces études ne visent pas à apporter des solutions directement utilisables pour toutes les exploitations de la région mais plutôt à dégager de grandes tendances valables pour le type d'exploitation étudié. En conséquence, la transposition des résultats à des cas réels doit se faire avec pru-

dence et passe obligatoirement par une analyse approfondie des contraintes et des structures de l'exploitation (surfaces, parcellaire, situation financière...). Il y a tout un travail d'expertise pour adapter ces enseignements et les valoriser dans une situation bien précise. Ce savoir-faire demande une connaissance approfondie du cas étudié, mais aussi une capacité de synthèse pour relativiser les résultats de tels modèles.

Un exemple de ce genre de simulation est celle réalisée à la ferme expérimentale de la Côte-Saint-André par un groupe de travail réunissant l'ITCF, l'ITEB, l'EDE et le Centre de Gestion de l'Isère (CAPITAIN et al., 1988).

Jusqu'à ces dernières années, les calculs de ce type d'étude étaient bien souvent manuels. De ce fait, les réalisateurs avaient tendance à simplifier considérablement les calculs en hypothéquant parfois la qualité des résultats. Un outil informatisé de comparaison de système fourrager a été développé récemment pour standardiser et faciliter les calculs (LE BRIS, 1988). Il se situe dans le prolongement d'outils précédents (ATTONATY, 1972, 1978) avec les caractéristiques spécifiques suivantes :

— Souplesse d'adaptation : il a été conçu pour être utilisé dans différents contextes d'exploitations que ce soit pour des vaches laitières de Franche-Comté, de l'Isère ou de Normandie, des vaches allaitantes en Lorraine ou dans l'Indre, ainsi que pour des ovins viande en Dordogne (CAPITAIN et al., 1988 ; GIBON et al., 1988 ; CAZES et al., 1985).

— Rapidité des calculs (moins de dix secondes) avec par conséquent la facilité de tester l'incidence de diverses variations : prix...

— Rationnement des animaux calculé hors du logiciel : on a donc la liberté de se servir des nombreux programmes existants (et du logiciel INRation dès qu'il sera disponible), ou d'utiliser directement des résultats d'essais d'alimentation.

— Enfin, *l'ajustement entre ressources fourragères et besoins du troupeau* est réalisé pour les stocks ainsi que pour le pâturage. Cet ajustement n'est pas automatique comme le ferait un programme linéaire ou un système expert : il est *entièrement contrôlé par l'utilisateur* qui choisit à sa convenance une stratégie d'équilibre du système parmi celles évoquées précédemment (DURU et al., 1988a).

Pour terminer ce rapide tour d'horizon sur les approches classiques, on peut s'interroger sur les possibilités d'intégrer les deux grands types d'étude de système que nous avons vus, dans un outil unique qui soit à la fois précis sur le plan technique et capable d'effectuer des études de changement de système. Un certain nombre de travaux sont en cours (VIAUX, 1986) pour définir un outil qui ne soit pas trop complexe à utiliser. On peut espérer que les possibilités offertes par la micro-informatique permettront d'élaborer un outil à la fois simple et puissant.

Les approches récentes : utilisation des modèles climatiques

La plus importante critique que l'on peut faire aux *méthodes précédentes* est qu'elles *ne tiennent pas compte de la variabilité de la production fourragère liée au climat*. Le fait de raisonner en « année moyenne » peut être assez dangereux. De nombreux auteurs ont insisté sur la nécessité d'introduire les aléas climatiques dans les simulations (MATHIEU et al., 1981 ; SEBILLOTTE, 1986). En effet, un système fourrager très performant en année moyenne peut se révéler médiocre voire catastrophique lorsque l'on intègre l'incidence des mauvaises années.

Par ailleurs, les éleveurs font appel, de manière plus ou moins précise selon le cas, à un ensemble de règles de décision pour s'adapter à la variabilité du climat (DURU et al., 1988c). Les ignorer revient donc à simplifier la réalité et à s'éloigner d'un objectif d'aide à la gestion des systèmes.

C'est pour cette raison que les observations en ferme et les expérimentations sont pluri-annuelles. Mais les durées habituelles des mesures peuvent être insuffisantes. A titre d'illustration, on peut prendre le cas d'une étude réalisée à partir d'un essai de production fourragère dans la région de Nancy durant les années 1971 à 1975 (CODRON et al., 1984). Après avoir établi une analyse fréquentielle d'un indice climatique estival, on peut constater la répartition suivante des cinq années d'essai (figure 2) : durant quatre années l'indice est inférieur à la médiane et il y a même deux années inférieures au premier quintile. On est donc loin d'avoir eu dans cet essai, une série d'années représentative du climat local. Ainsi, les références issues d'observations en ferme ou élaborées à partir de résultats expérimentaux, qui sont obtenues en faisant la moyenne de deux, trois, voire cinq années, peuvent être largement biaisées.

● Les modèles climatiques

C'est pourquoi depuis plusieurs années se sont développés, en particulier à l'INRA et à l'ITCF, des travaux de modélisation qui permettent d'établir des liaisons entre des paramètres climatiques et la production végétale (croissance, qualité, accès à la ressource).

Dans le domaine de la production fourragère, on dispose maintenant de modèles qui permettent d'estimer les rendements au premier cycle avec les sommes de températures (LEMAIRE et al., 1981), mais également en été avec les sommes d'ETR (DE MONTARD, 1983 ; RAPHALEN et al., 1985 ; DURU et al., 1986). Toutefois, les modèles des repousses de printemps, sont moins précis (GAILLARD et al., 1987). L'ensemble de ces modèles font actuellement l'objet de nombreux travaux et seront certainement améliorés. Il convient d'insister sur le fait que la

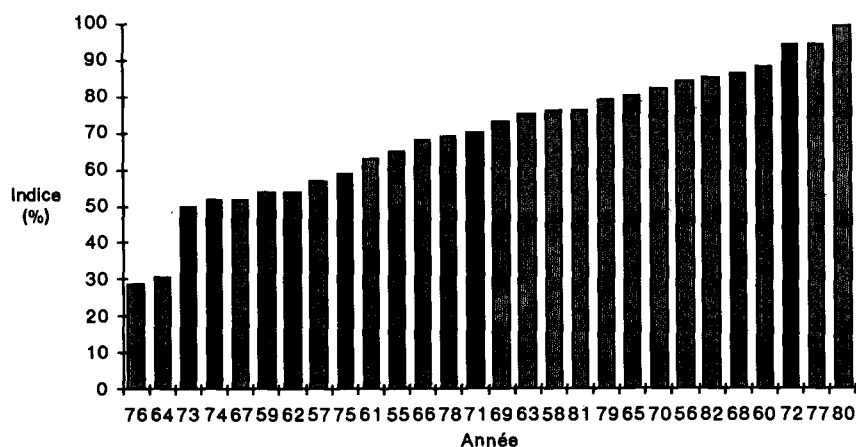


FIGURE 2 : Analyse fréquentielle de l'indice de satisfaction des besoins en eau (Station de Nancy-Essey, 1955-1982, période du 1/06 au 20/09, RU : 120 mm, RFU : 60 mm ; premier quintile : 53 %, médiane : 71 %, quatrième quintile : 85 % ; CODRON et al., 1984)

FIGURE 2 : Frequency analysis of the meeting of water requirements (Nancy-Essey Station, 1955-1982, period 1/06 to 20/09, AR 120 mm, AFR 60 mm, first quintile 53 %, median 71 %, fourth quintile 85 %, CODRON et al., 1984)

modélisation porte désormais sur l'ensemble de l'année et que des modèles ont pu être établis récemment en conditions réelles de pâturage en Meurthe-et-Moselle (GAILLARD et al., 1987) et dans le Finistère (HARDY et al., 1988).

D'autres modèles sont en cours d'élaboration dans des domaines complémentaires ; on peut citer les travaux sur :

- la dessiccation des fourrages après la fauche, avec de nombreuses applications à la récolte des ensilages et des foins (GRANGER et al., 1987),

- les jours praticables, à partir de modèles d'évolution de l'humidité de la couche arable que l'on compare à des humidités seuils pour chaque catégorie d'opération culturale (MONTAVON et al., 1988).

Les utilisations de ces modèles, dans le cadre d'analyses fréquentielles du climat, sont envisagées sous plusieurs angles : calculer des références moyennes basées sur une série climatique suffisamment longue, établir des probabilités de réalisation, situer les résultats d'une année par rapport à un objectif, et expliquer une partie des écarts par le climat, ou bien comparer des potentialités régionales.

La réalisation de telles études pourrait devenir plus courante dans les prochaines années, à l'image des nombreux travaux réalisés par les anglo-saxons

(VAN KEULEN et al., 1981 ; WHITE et al., 1983). En France, peu de travaux de ce type sont effectués, car ils nécessitent le rassemblement et la mise en œuvre de modèles qui sont souvent trop fragmentaires. A titre d'exemple, nous rappellerons trois études qui illustrent cette prise en compte du climat dans les études de simulations.

● Premier exemple : comparaison de stratégies de gestion par simulation historique

Dans le contexte de systèmes fourragers laitiers de Bretagne et de Pays de Loire, les auteurs (GAY et al., 1982) avaient pour but de tester l'incidence économique de différentes stratégies relatives à des politiques de gestion des stocks fourragers hivernaux. Un certain nombre de stratégies ont été définies pour une exploitation « type » dont le système fourrager repose sur le ray-grass d'Italie et le maïs. A titre d'illustration nous présenterons sommairement trois des cinq stratégies « Pays de Loire » et quelques règles de décision relatives à l'alimentation hivernale.

— Stratégie n° 1 : Toute la surface de l'exploitation est consacrée à la production fourragère ; le chargement est déterminé à partir de la moyenne des rendements des cultures de la décennie. Cette stratégie ne comporte aucune sécurité dans les surfaces. En cas de déficit de production de maïs, on procède à l'achat des quantités nécessaires ; en cas d'excédent, l'exploitant ne conserve pas de stock de sécurité et vend en grain.

— Stratégie n° 2 : Le chargement est calculé de telle sorte qu'en année moyenne, il constitue un stock de sécurité égal à la consommation de deux mois de maïs en prévision des années déficitaires.

— Stratégie n° 3 : La surface excédentaire par rapport aux besoins du troupeau est ici conduite en rotation céréalière maïs grain-blé. Si la récolte de maïs sur les surfaces prévues en ensilage est inférieure aux besoins de l'année, le déficit peut être comblé en ensilant les surfaces prévues en grain et éventuellement en achetant du maïs sur pied.

L'élaboration d'un modèle a été faite à partir des équations de production du ray-grass d'Italie et du maïs et à partir de règles de décision vis-à-vis des aléas. Ensuite un solde de trésorerie a été calculé sur une série climatique. Cette étude a été complétée ultérieurement (MATHIEU, 1986) en intégrant des modèles de portance du sol. Ce type de simulation permet de déterminer l'incidence économique d'une succession de bonnes et de mauvaises années et donc de choisir des systèmes fourragers et des stratégies adaptés aux risques climatiques.

● **Deuxième exemple de simulation : constitution, utilisation des stocks et risques climatiques**

La variabilité climatique est une contrainte majeure, du fait de l'absence de prévisions fiables au-delà de 5 jours. En effet, la croissance et donc le niveau des récoltes dépendent de la température et du rayonnement au printemps ; les pluies estivales rythment l'avancement des chantiers de fenaison et donc la qualité des foins ; le climat de début et de fin d'hiver (température, neige) fixent la durée d'hivernage dans les grandes lignes. Pour le cas de l'hivernage des troupeaux ovins dans les Pyrénées centrales (DURU et al., 1985), il faut ajouter à ce schéma général la présence de neige au sol qui permet ou non l'accès des animaux au pâturage.

En premier lieu se pose le choix de la combinaison des moyens de production la plus appropriée pour limiter les risques liés à l'ensemble des variations climatiques interannuelles ; ce qui nécessite la mise au point d'une méthode de diagnostic permettant de déterminer les contraintes majeures. En deuxième lieu, une fois les moyens de production choisis, il convient de proposer des modes de gestion du système fourrager adaptés aux variations de la production de fourrages ou de leur consommation selon les aléas climatiques.

Le nombre de variables à prendre en compte et la multiplicité des interdépendances ont conduit les auteurs à construire un modèle qui a ensuite été utilisé pour simuler des hypothèses (DURU et CHARPENTEAU, 1981 ; CHARPENTEAU et DURU, 1983).

— *Structure du modèle*

Elle est schématisée sur la figure 3 selon la proposition présentée précédemment (DURU et al., 1988a). On a construit un modèle à deux compartiments (production de ressources et consommation pour le troupeau selon un objectif de production) et trois groupes de variables : les variables de structure sont chacune spécifiées par un indice, les variables climatiques sont reliées par des équations à des variables intermédiaires définies précédemment. Les décisions techniques (variables de gestion) sont mises en œuvre selon certaines règles (quantité de foin insuffisante à une date donnée) ou bien envisagées systématiquement dans ce modèle (agnelage d'automne ou d'hiver, utilisation ou non des réserves corporelles des animaux).

— *Principaux résultats*

D'une manière générale, les effets des variations climatiques interannuelles sont importants quels que soient les moyens de production. Des moyens de production plus importants pour un effectif d'animaux donné (surface fauchée,

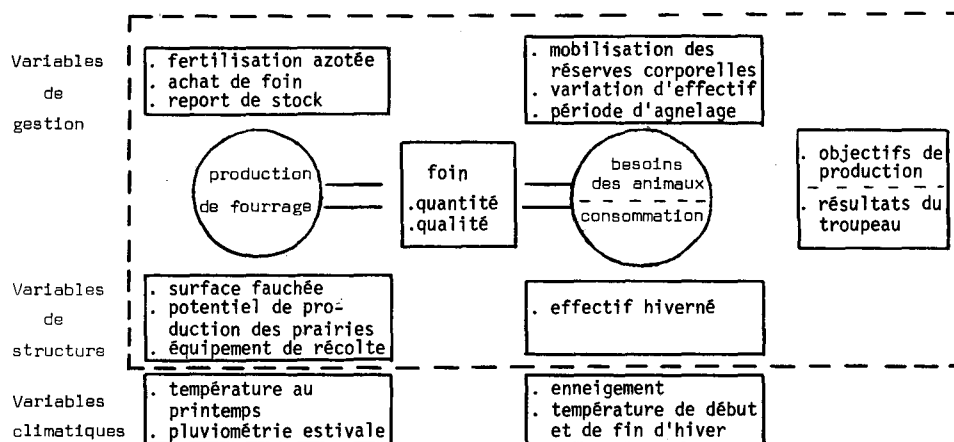


FIGURE 3 : Schématisation du modèle d'hivernage : constitution et utilisation des stocks (adapté de CHARPENTEAU et DURU, 1983)

FIGURE 3 : Schematic model of wintering : constitution and utilization of stored forage (after CHARPENTEAU and DURU, 1983)

équipement de récolte, fertilité des parcelles) accroissent beaucoup plus le niveau de performance moyen qu'ils ne réduisent la variabilité des résultats entre années.

Au niveau de la gestion, c'est le choix de réaliser l'agnelage avant les risques d'enneigement important qui permet d'améliorer le plus efficacement le niveau des performances possibles et de réduire leur variabilité entre années. Cependant, la maîtrise de la saillie dépend, entre autres, d'un niveau d'alimentation suffisant au printemps (GIBON et DURU, 1987). Le report de foin d'une année favorable pour l'hiver suivant est efficace pour réduire la variabilité mais il nécessite de disposer de stocks suffisants en année favorable.

Pour réduire les effets des variations climatiques interannuelles, l'intérêt d'un apport d'azote a été testé en tenant compte des effets sur la croissance de l'herbe et l'aptitude du fourrage à la fenaison. L'augmentation des rendements et de la teneur en eau qui en résulte rendent plus difficile la récolte à une date donnée.

D'une manière plus générale, ce type de modèle permet une hiérarchie des contraintes, qu'elles soient internes ou externes à l'exploitation (climat). Toutefois, il s'agit dans tous les cas d'un diagnostic a posteriori. Pour une aide à la gestion en cours de campagne, il est nécessaire de fixer les seuils à partir desquels une décision s'impose pour respecter l'objectif général assigné. Il importe alors de préciser les états des ressources (en fin d'hiver, à la récolte) et des animaux (réserves corporelles) qui serviront de repères pour mettre en œuvre les corrections possibles (azote, pâturage, achat...).

● **Troisième exemple : gestion des ressources en stock et au pâturage en cours de campagne**

De nombreux travaux concluent à l'importance du choix et de la maîtrise du chargement pour optimiser la production d'herbe à la parcelle (BÉRANGER, 1985) et pour accroître les résultats économiques au niveau de l'exploitation (JOURNET, 1985). Les recommandations qui sont élaborées sur ces bases par système et par petite région sont, à cet égard, importantes pour cadrer le système fourrager, c'est-à-dire le définir dans ses grandes lignes. Toutefois, dès lors qu'il s'agit de gérer la production et la consommation des ressources en cours de campagne, elles sont insuffisantes. Dans cette perspective, le chargement est plutôt une résultante de la croissance de l'herbe et des effets des décisions antérieures qu'un véritable objectif.

Pour la conduite du pâturage tournant, les recommandations concernent généralement le temps entre deux passages sur une même parcelle, la durée étant variable selon la saison. Pour les stocks, on recommande une quantité par animal qui est traduite en surface compte tenu de prévisions de rendement. Dans les deux cas, étant donné les variations climatiques, ces critères semblent peu appropriés pour aider à la gestion en cours de campagne.

En s'inspirant de la démarche utilisée par les anglo-saxons pour gérer le pâturage continu en fonction d'une hauteur d'herbe (HODGSON, 1985 ; PARSON et JOHNSON, 1985 ; MAXWELL et WRIGHT, 1987), un critère qui intègre les variations de disponibilités fourragères a été proposé (DURU et al., 1988b). Ce critère est le solde, à une date donnée, de la production et de la consommation de fourrage (en stock ou au pâturage). Ce solde est exprimé en Jours de Consommation d'Avance (JA) (figure 4) ; il s'agit donc d'une approche en termes de trésorerie.

— *Des objectifs de jours d'avance différents selon les systèmes*

Les premiers calculs de ce critère dans quelques exploitations et pour plusieurs années montrent une certaine constance des valeurs malgré les aléas. Ce sont des ajustements d'ordre divers (distribution de stock, réduction de la surface pâturée) qui permettent de rester dans une certaine fourchette de jours de consommation d'avance. Tout se passe donc comme si l'éleveur avait un programme prévisionnel qui lui serve de repère pour décider de la mise en œuvre des techniques (DURU et al., 1988c).

Les valeurs de JA sont, d'après ces observations, très différentes selon l'exigence de qualité de l'herbe pâturée : un troupeau laitier intensif fonctionnera avec 15 à 25 jours d'avance, alors que dans la même région, les valeurs de JA pour un troupeau de vaches allaitantes pourront atteindre 30 à 50 jours. En second lieu, les valeurs de JA, notamment pour les stocks, dépendent du niveau de sécurité choisi.

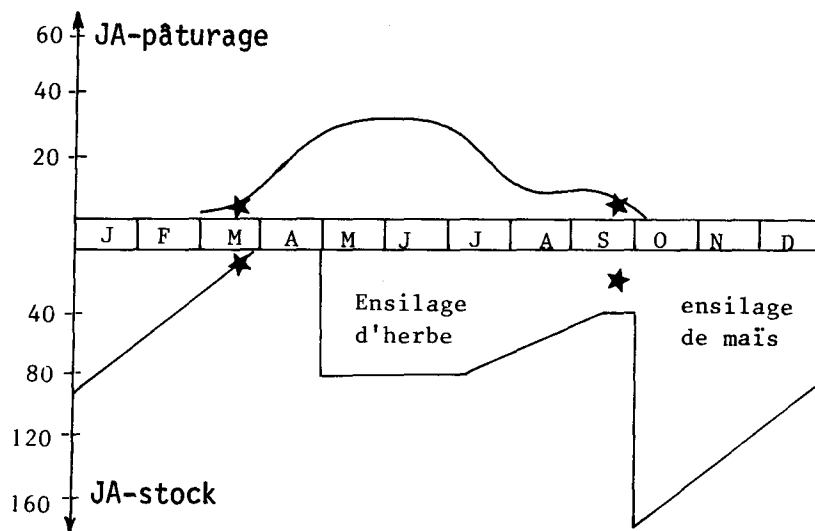


FIGURE 4 : Représentation schématique du solde de trésorerie fourragère évalué en jours de consommation d'avance (JA) et de son évolution au cours d'une campagne (* : périodes critiques correspondant aux transitions entre pâturage et consommation des stocks ; d'après DURU et al., 1988b)

FIGURE 4 : Schematic representation of forage cash balance measured in terms of « days in advance » (JA) and of its evolution during a season (* : critical periods corresponding to transition from grazing to consumption of stored feeds ; after DURU et al., 1988b)

— Des périodes clefs pour la prise de décision

Pour la gestion des stocks, il s'agit principalement des périodes de récolte et de semis. Dans les systèmes où le maïs constitue une part importante de la ration et peut être cultivé aussi pour le grain, la récolte correspond à une période où la surface ensilée peut être déterminée en fonction des rendements mais aussi de l'influence du climat de l'été sur la consommation des stocks. Les cultures d'été, dans les régions où elles sont possibles, peuvent être semées en dérobée au vu des récoltes de printemps. Dans les régions herbagères, hormis les achats, seule la fertilisation azotée permet de contrôler la croissance de l'herbe mais sa valorisation est tributaire du mode de récolte et de la sécheresse.

Pour le pâturage, c'est de toute évidence la période de printemps qui est la plus difficile à gérer dans la mesure où toute erreur (surface trop importante relativement aux besoins ou inversement) ne fait que s'amplifier au cours du temps (GILLET, 1986).

— *Utilisation pour le diagnostic*

On peut schématiquement distinguer deux types de diagnostic. L'un est interne à l'exploitation. Il s'agit de comparer a posteriori les résultats par rapport aux objectifs aux différentes saisons. Les causes des écarts peuvent être identifiées et les moyens de correction envisagés. Un deuxième type de diagnostic est basé sur la comparaison de plusieurs exploitations d'une même petite région, ayant des objectifs de production assez voisins. Les valeurs de JA peuvent alors être discutées en référence aux spécificités de ces exploitations d'une même petite région, ayant des objectifs de production assez voisins.

— *Utilisation pour le pronostic*

Selon les disponibilités en fourrage, pour partie dépendantes des arrière-effets de la gestion passée, il importe de choisir les moyens qui permettront de corriger un écart pour la période à venir en anticipant sur les événements susceptibles de se produire. Le plus souvent, ces moyens sont prédéterminés. L'objet de la décision est alors de fixer précisément le niveau et la date des moyens à affecter (date et quantité d'azote, surface à ensiler en complément...). Dans cette perspective, le repère que constituent les jours d'avance permet concrètement d'orienter ces décisions.

● **Conduite du système fourrager**

Les deux premiers types d'études traduisent les progrès importants réalisés pour la gestion de l'alimentation hivernale grâce à une meilleure connaissance des effets des variations climatiques, et par conséquent des moyens pour accroître la sécurité des systèmes fourragers qui reposent en grande partie sur les stocks.

Néanmoins, ces études qui visent à rechercher les meilleures stratégies possibles au niveau d'un système fourrager, notamment par une hiérarchisation des contraintes, doivent être impérativement complétées par des études de conduite du système fourrager au jour le jour : la dernière étude est, à cet égard très intéressante.

En effet, en toute rigueur, la définition d'une bonne stratégie doit également prendre en compte les moyens, c'est-à-dire les outils opérationnels pour gérer chaque année les systèmes, et en particulier pour faire face le plus rapidement possible aux aléas de toutes sortes et notamment climatiques.

Cette troisième étude va dans le sens des études menées depuis quelques années afin de résoudre les problèmes posés par le pâturage, et notamment par sa gestion quotidienne. Ces dernières se traduisent par la mise au point de critères d'observation (A. MATHIFU et al., 1988) et conduite du pâturage (HARDY et al.,

1988). Quand on connaît l'importance des surfaces consacrées à ce mode d'exploitation de l'herbe et à ses conséquences sur la constitution des stocks, la mise en œuvre de tout moyen permettant de mieux gérer le pâturage peut se traduire par d'importantes retombées économiques.

A titre d'exemple, après quatre années d'études sur l'herbomètre, ont été publiées des équations reliant le rendement et la hauteur de l'herbe mesurée avec cet appareil (WEISS, 1986). Ces valeurs ont été transcrites dans une réglette de prévision du temps de séjour des animaux sur une parcelle. Bien qu'un tel instrument ne puisse pas être utilisé pour acquérir des références précises de production fourragère, il devrait au cours des prochaines années, apporter beaucoup dans la conduite pratique du pâturage, et donc dans celle du système fourrager.

Conclusion

Les méthodes d'aide à la décision visent principalement à mieux comprendre le fonctionnement des systèmes, à choisir des techniques ou des systèmes, à faciliter leur conduite ainsi qu'à étudier des changements d'orientation.

La modélisation apparaît comme le prolongement indispensable des activités de terrain que sont les enquêtes, les suivis d'exploitation et l'expérimentation.

La simulation, c'est-à-dire l'utilisation cohérente de références et de modèles, est rapide et peu coûteuse ; elle permet de mesurer l'incidence d'une technique, d'établir des prévisions à court et à moyen terme, et d'apporter des éléments de réponse face à des problèmes nouveaux.

Concernant l'utilisation des différentes méthodes, on ne peut qu'insister sur la *nécessité de faire des « allers et retours » constants entre les modèles et le terrain*, pour valider les résultats des simulations, proposer des solutions et susciter de nouvelles questions.

Nous ne sommes pas entrés dans le détail des références à utiliser, mais il est nécessaire de rappeler qu'il ne suffit pas de disposer d'un bon outil de calcul : c'est avant tout la fiabilité et la cohérence des références retenues qui déterminent la qualité des simulations.

Enfin, pour faire *face à la complexité croissante des méthodes et des outils*, on ne peut qu'insister sur *la nécessité de travailler en équipe pluridisciplinaire*.

Exposé présenté aux Journées A.F.P.F. 1988

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ATTONATY J.M. (1986) : « L'apport de la simulation à l'analyse de l'organisation du travail en agriculture », *Bulletin Technique d'Information*, 412-413, 657-662.
- ATTONATY J.M., CHATELIN M.H., MATHIEU J., PLANQUAERT P. (1978) : « Prévision d'un système fourrager », *Perspectives Agricoles*, 20, 40-48.
- ATTONATY J.M., FLAMENT M., HAUTCOLAS J.C. (1972) : « Les budgets automatisés : outils nouveaux pour la gestion technico-économique de l'entreprise agricole », *Fourrages*, 51, 43-63.
- BÉRANGER C. (1985) : « Increasing production efficiency in plant animal systems », XV International Grassland Congress, Kyoto, 24-31 août,, 98-106.
- CAPILLON A., LEGENDRE J., SIMIER J.P., VEDEL G. (1988) : « Typologies et suivis technico-économiques d'exploitations : quels apports pour l'étude et l'amélioration des systèmes fourragers ? », *Fourrages*, 115.
- CAPILLON A., MANICHON H. (1979) : « Une typologie des trajectoires d'évolution des exploitations agricoles. Principes, application au développement agricole régional », *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 65 (13), 1168-1178.
- CAPITAIN M., CARIOT C., DEDENON N., JULLIEN J.P. (1988) : *La luzerne dans les systèmes fourragers pour vaches laitières : intérêt économique*, ITEB, Chambre d'Agriculture de l'Isère, ITCF, 84 p.
- CAZES J.P., VALLADE C., DOBBELS M. (1985) : *Systèmes de production de viande ovine*, ITCF, 3 p.
- CHARPENTEAU J.L., DURU M. (1983) : « Simulation of some strategies to reduce the effect of climatic variability on farming system. The case of Pyrenees mountains », *Ag. Syst.*, 11, 105-125.
- CODRON D., LE BRIS X., REYNAUD M. (1984) : « Climat de l'Est de la France : contraintes agrométéorologiques de la production fourragère », *document du Forum des Fourrages de l'Est*, ITCF, 15-35.
- DURU M., CHARPENTEAU J.L. (1981) : « Working on the farming system in the Pyrenees. Elaboration of a model of constitution and utilization of hay stock », *Ag. Syst.*, 7, 137-156.
- DURU M., CHARPENTEAU J.L. (1985) : « Comment lever la contrainte climatique sur l'hivernage des troupeaux ovins dans les Pyrénées ? Les réponses apportées par des simulations », *Fourrages*, 103, 3-30.
- DURU M., GIBON A., OSTY P.L. (1986) : « Pour une approche renouvelée du système fourrager », Colloque Diversification des modèles de développement rural. Questions et méthodes., 17-18 avril 1986.
- DURU M., LANGLET A. (1986) : « Climat, rythme de coupe et croissance d'une fétuque élevée. Cycle reproducteur et repousses végétatives », *Fourrages*, 107, 49-80.
- DURU M., NOCQUET J., BOURGEOIS A. (1988a) : « Le système fourrager : un concept opératoire ? » *Fourrages*, 115.
- DURU M., FIORELLI J.L., OSTY P.L. (1988b) : « Proposition pour le choix et la maîtrise du système fourrager. I - Notion de trésorerie fourragère », *Fourrages*, 113.
- DURU M., PAPY F., SOLER L.G. (1988c) : « Le concept de modèle général et l'analyse du fonctionnement de l'exploitation agricole », *C.R. Acad. Agric.*, 74, (sous presse).

- GAILLARD B., LE BRIS (1987), « Vers une meilleure prévision du rendement des prairies pâturées : Application à la prairie lorraine », *Perspectives Agricoles*, supplément n° 111, 34-38.
- GAY D., HONORE A., LEMAITRE G., MORICE G., CHATELIN M.H. (1982) : « Conséquences des incidents techniques sur le résultat économique de l'exploitation », *document Forum des Fourrages de l'Ouest*, ITCF, 23-24 nov. 1984, 420-451.
- GIBON A., DURU M. (1987) : « Fonctionnement des systèmes d'élevage ovin pyrénéen et sensibilité au climat », *Colloques INRA n° 39*, 303-316.
- GIBON F., LE BRIS X., SCHMITTER L. (1988) : « Exploitations céréales-viande : un avenir vaches allaitantes », *Réponses Fourrages*, 1988, 57-60.
- GILLET M. (1986) : « Organisation du travail et systèmes fourragers », *Bulletin Technique d'Information*, 412-413, 737-741.
- GRANGER Y., MORLON P., MEUNIER E. (1987) : « Le séchage du foin au champ. Modélisation du séchage et jours disponibles pour la fenaison », *Fourrages*, 110, 111-137.
- GUICHARD M., COURTOIS G. (1972) : « La technique de simulation appliquée à la gestion des entreprises agricoles », *Fourrages*, 51, 33-41.
- HARDY A., HENRY D. (1988) : *Le pâturage de génisses croisées. Comparaison de deux niveaux de chargement*, ITCF, EDE du Finistère, 87 p.
- HONORE A. (1985) : « Modèles, modèles économiques : repères », *Agriscopes*, 5, 34-44.
- HODGSON J. (1985) : « The signification of sward characteristics in the management of temperate sown pasture », XV International Grassland Congress, Kyoto, 24-31 août, 63-67.
- JOURNET M. (1985) : « Alimentation hivernale des vaches laitières à faible coût de production », *Bull. Tech. CRZV Theix*, 59, 39-49.
- LE BRIS X. (1988) : « Un outil de comparaison de systèmes fourragers », *Réponses Fourrages*, 1988, 44-45.
- LEMAIRE G., SALETTE J. (1981) : « Conséquences du rythme de croissance de l'herbe sur la conduite du pâturage au printemps. Possibilités de prévisions », *Fourrages*, 85, 25-38.
- LEMAITRE G., MATHIEU J., POITEVIN P. (1984) : « Diversité et complexité du conseil technique agricole », *Agriscopes*, 4, 29-35.
- MANSAT P. (1980) : « Évolution des systèmes fourragers », *Perspectives Agricoles*, n° hors série, janv. 80, 6-13.
- MATHIEU A., de VAUBERNIER E. (1988) : « Physiognomic description of sward heterogeneity as an indicator for grazing management diagnosis », Proc. XIIth Gen. Meet. of Europ. Grassld. Fed, Dublin 4/7/88, 312-316.
- MATHIEU J. (1980) : « Gestion technique et recherche de références », *Perspectives Agricoles*, n° hors série, janv. 80, 48-59.
- MATHIEU J. (1986) : « Exemple d'utilisation d'un modèle de simulation historique sur la conduite d'une succession fourragère », *Bulletin Technique d'Information*, 412-413, 663-770.
- MATHIEU J., RAPHALEN J.L. (1981) : « Variabilité climatique et systèmes fourragers », *Perspectives Agricoles*, 53, 45-54.
- MAXWELL T.J., WRIGHT I.A. (1987) : « Nouveaux concepts pour la conduite des prairies. L'expérience britannique. », *Fourrages*, 112, 345-362.

- DE MONTARD F.X. (1983) : « Climat et potentialités herbagères. La Margeride, la montagne, les hommes. », INRA publications, 439-455.
- MONTAVON C., BODET J.M. (1988) : « Gestion des systèmes fourragers : la modélisation des jours praticables », *Réponses Fourrages*, 1988, 66-67.
- PAPY F. (1979) : « Eléments de réflexion sur la recherche fourragère au Maroc », *Fourrages*, 79, 89-110.
- PARSON A.J., JOHNSON I.R. (1985) : « The physiology of grass growth undergrazing », *Grazing*, Ed. Frame J., 3-13.
- RAPHALEN J.L., LE BRIS X. (1985) : « Production des prairies et climat », *Fourrages*, 102, 19-28.
- SEBILLOTTE M. (1986) : « Évolution et actualité des problèmes d'organisation du travail en agriculture », *Bulletin Technique d'Information*, 412-413, 621-630.
- VAN KEULEN H., SELIGMAN N.G., BENJAMIN R.W. (1981) : « Simulation of water use and herbage growth in arid regions », *Agricultural Systems*, 6, 159-193.
- VIAUX P. (1986) : « Système d'exploitation : un simulateur facilite le choix », *Réponses Fourrages*, 1986, 81-82.
- WEISS P. (1986) : « L'herbomètre : un outil de mesure de la hauteur d'herbe au pâturage », *Réponses Fourrages*, 1986, 42-44.
- WHITE D.H., BOWMAN P.J., MORLEY F.H.W., MCMANUS W.R., FILAN S.J. (1983) : « A simulation model of a breeding ewe flock », *Agricultural Systems*, 10, 149-189.

RÉSUMÉ

La simulation, permise par l'informatique, constitue le prolongement des autres approches du système fourrager. Les simulations permettent des études économiques ou de comparer des techniques ou des systèmes fourragers dans une région donnée.

Elles permettent également de prendre en compte la variabilité des productions fourragères liée au climat. Des modèles de production fourragère, de dessiccation après la fauche, de jours praticables pour les opérations culturales... ont été établis. L'utilisation cohérente de tels modèles dans le cadre de simulations de systèmes fourragers permet de déterminer les stratégies et les critères de conduite les mieux adaptés aux risques climatiques.

SUMMARY

Approaches to the Forage System by Simulation

Simulation, made possible by computers, is the extension of the other approaches to the forage system. Economic studies or the comparison of techniques or of forage systems in a given region are made possible by simulation.

They also make allowance possible for the climatic variations of the forage productions. Models of herbage production, of wilting after a cut, of number of available days for certain agricultural operations, etc. have been set up. The coherent use of such models within the operations of forage system simulation give the means of determining the strategies and management tests best adapted to the climatic risks.