



Cirad-Emtv  
Programme  
« Productions Animales »

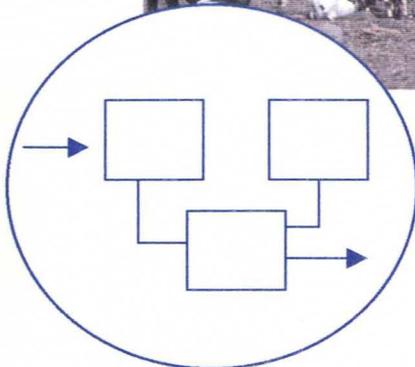
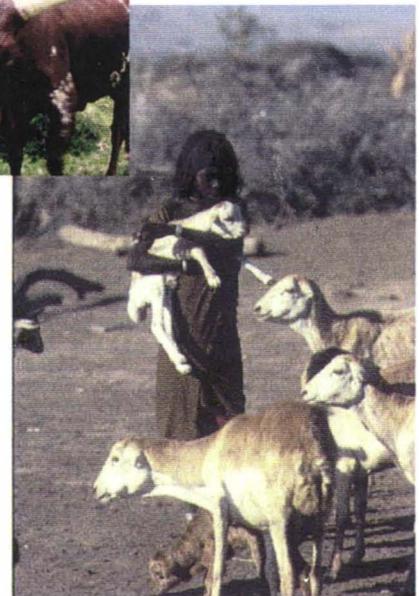


Institut National  
Recherche Agronomique  
Unités de Recherches  
sur les Herbivores

**DOUBLE**

# MODELISATION DU FONCTIONNEMENT DES TROUPEAUX

Edition scientifique : B. Faye (Cirad-Emtv)  
et S. Ingrand (Inra-Theix)



Compte rendu du Séminaire INRA-CIRAD à Montpellier  
Les 31 janvier et 1<sup>er</sup> février 2001

**CIRAD-Dist**  
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE  
Baillarguet

# Construction d'un modèle de la performance des vaches allaitantes et accessibilité des variables

Agabriel J., Ingrand S.

*Unité de Recherches sur les Herbivores - INRA Clermont Ferrand Theix*

## 1. Cadre général et objectifs de la modélisation

Le projet de construction d'un simulateur des performances d'un troupeau bovin allaitant a été présenté au séminaire de septembre 2000 (Ingrand *et al.*). Ce simulateur doit permettre à terme de tester l'effet de différents scénarios de changement de règles de conduite sur les performances zootechniques des animaux. Il combinera un sous-modèle décisionnel qui pourra opérer sur des modèles biologiques. Ceux-ci représenteront soit des lots d'animaux pour certains événements (mise à l'herbe, mise au taureau...) soit des individus (tarissement...). Toutefois chaque opération sera reportée à l'animal qui sera considéré comme un "agent" par le simulateur. Le niveau "animal entier" sera donc un niveau d'organisation privilégié de notre modèle biologique.

La vache en production peut être considérée comme un système en équilibre évoluant régulièrement, recevant des intrants, et produisant des flux de sortie. Ce système animal est défini par un ensemble de variables d'état caractérisant l'individu (espèce, race, type de production...) et par des variables évoluant à différentes échelles de temps (âge, stade physiologique, poids, état d'engraissement, état sanitaire, etc.). Les entrées sont d'une part les caractéristiques générales du milieu physique (climat, photopériode...) et de conduite des animaux (mode de reproduction, date de sevrage, prophylaxie...) et d'autre part les apports nutritifs proprement dits (quantité d'énergie, de protéines, de minéraux...). Le flux de sortie est constitué des produits de la conception (poids du veau produit), de la production laitière, de la croissance des tissus (engraissement...). Le jeune veau peut être considéré dans le système jusqu'à sa naissance, ou jusqu'à 3 mois (âge où il commence à ingérer des aliments solides) ou même jusqu'à son sevrage à 8 mois. Suivant le cas, les variables d'état du système intégreront ou non la production laitière.

D'une année à l'autre, la succession des événements est voisine mais pas forcément identique. Le système se "déforme" et ne se retrouve jamais en fin de cycle de production dans l'état initial. L'état final après plusieurs années doit permettre d'évaluer la production de viande de la vache de réforme. La succession des cycles crée la carrière qu'il convient de savoir représenter. Pour cela il faut apporter une attention particulière aux conditions de réussite de la reproduction puisque l'échec implique quasiment toujours la réforme de la vache.

L'objectif est donc d'élaborer un modèle dynamique de prédiction des performances du couple vache-veau complémentaire du modèle de croissance du produit (voir papier de T. Hoch). Ces modèles devront être valables dans une large gamme de situations de milieu d'élevage, en particulier celles qui se développent actuellement : extensification, utilisation maximale des fourrages, réduction des intrants. Le modèle « vache » s'appuie sur les connaissances zootechniques existantes (expertises, données) et synthétise les relations entre les grandes fonctions de l'organisme : ingestion, croissance, lactation, reproduction (figure 1). L'originalité vient de la mise en commun à l'échelle de l'animal et sur une période de temps correspondant à

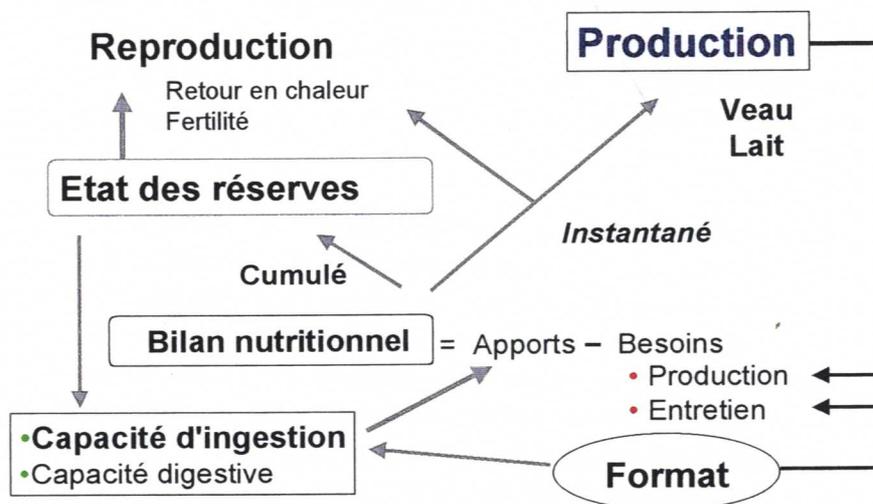
un cycle physiologique, des connaissances souvent acquises de manière parcellaire et sur des périodes de courte durée.

Cet article insistera sur les variables que l'on a conservées pour construire le modèle et sur les facteurs intervenant sur ces variables.

## 2. Composants du modèle et variables concernées

Le schéma d'ensemble des liaisons entre fonctions chez la vache allaitante (figure 1) est décomposé en deux "sous-modèles".

Figure 1 : Modèle vache - principales relations entre fonctions  
(D'après Petit et Agabriel 1993)



- Le premier correspond à la représentation des variations des réserves corporelles de la vache soumise à des fluctuations d'apports alimentaires et de dépenses énergétiques. On se place dans une situation d'élevage « classique » en période hivernale incluant le vêlage, la vache reçoit des fourrages de qualité moyenne à médiocre distribués à volonté. L'état des réserves « autorégule » ces deux flux (Petit *et al.*, 1993) par son effet sur la capacité d'ingestion, et par une modulation du besoin d'entretien et dans une moindre mesure des dépenses de production.

- Le deuxième correspond à l'étude particulière de la réussite à la reproduction. Il est pour l'instant à l'état de réflexion.

### 2.1. Evolution des réserves corporelles au cours d'un cycle

#### 2.1.1. Expression du modèle

L'équilibre énergétique de l'animal entier peut se schématiser par l'évolution de deux compartiments (Roguet et Favardin, 1999) : le premier correspond à de l'énergie disponible, le deuxième à de l'énergie stockée dans les réserves corporelles lipidiques. Sur l'animal adulte, et dans des conditions d'élevage normal, il a été montré que les variations de masse corporelle

correspondent presque uniquement à des variations de lipides (Robelin *et al.*, 1990). On considère donc pour simplifier qu'entre ces deux entités, les liens dynamiques (entrant et sortant) sont des flux de lipides.

L'équation générale des variations du premier compartiment qui correspond au schéma d'échange d'énergie peut s'écrire en énergie nette de lactation (Enl) :

$$\Delta \text{Enl} = \text{En}(\text{apports}) - \sum (\text{En}(\text{dépenses}_{\text{entretien}} \text{ production}) + \Delta \text{En} \text{ Réserves} * \frac{\text{kl}}{\text{K}})$$

kl correspond au rendement de l'énergie métabolisable en énergie nette de lactation, et K au rendement du stockage de l'énergie métabolisable en réserves lipidiques (INRA, 1978 et 1988). On peut appeler kr le rapport kl/K. En considérant que sur une période suffisamment longue le compartiment central ne varie pas ( $\Delta \text{Enl} = 0$ ), l'équation peut se simplifier sous la forme suivante (en développant en énergie nette lait) :

$$\Delta \text{En Réserves} = (\text{En. Apports} - \sum (\text{En. entretien} \frac{\text{kl}}{\text{km}} + \text{En fœtus} * \frac{\text{kl}}{\text{kg}} + \text{En lait bu}) ) * \frac{1}{\text{kr}}$$

kg correspond au rendement de l'énergie métabolisable en énergie nette de gestation. Les apports et dépenses peuvent s'exprimer en énergie nette dans leur expression mathématique proposée par l'INRA (1988). Les apports énergétiques par exemple, sont le produit des quantités ingérées par la valeur énergétique des aliments. Ils découlent des modèles ajustés de la capacité d'ingestion (CI) en considérant l'expression de base du système des unités d'encombrement  $Q_i = \text{CI} / (\text{Encombrement de la ration})$ .

Le besoin d'entretien dépend du stade physiologique ( $0,037$  et  $0,041 \text{ UFL/kgP}^{0,75}$ ) et de l'état d'engraissement, une vache maigre ayant un besoin recalculé plus faible qu'une vache grasse (Agabriel et Petit, 1987). L'effet retenu est de  $0,87 \text{ UFL}$  par point de note d'écart par rapport à l'état moyen de  $2,5$  sur  $5$ .

Les besoins de production (fœtus et lait bu) retenus sont ceux proposés dans les recommandations (INRA, 1988).

Si la vache mobilise ses réserves, le rendement de transformation des réserves (kr) en énergie nette de lactation est de  $0,8$  sinon le rendement est voisin de  $1$  ( $\text{kl}=0,6$  et  $\text{K}=0,6$  pour un dépôt lipidique ; Chilliard *et al.*, 1987). Les réserves sont des lipides ayant une valeur en énergie nette de  $9,38 \text{ kcal/g}$ . On considère également qu'un point de note correspond à une variation de  $4,5 \%$  de lipides dans la masse corporelle.

Nous faisons l'hypothèse que les variations des réserves observées et ajustées sur des données expérimentales pendant de longues périodes peuvent s'estimer avec les mêmes ajustements sur des période courtes (journée). La variation des réserves dR s'exprime alors par jour, et l'équation différentielle correspondante  $dR/dt$  est ensuite intégrée sur une période couvrant la fin de la gestation et de début de la lactation.

### 2.1.2. Description et ajustement de la capacité d'ingestion autour du vêlage

Nous avons d'abord cherché à obtenir un modèle d'ajustement de la capacité d'ingestion (CI) au cours du cycle de lactation, en prenant en considération les régulations à long terme de l'ingestion sous contrôle de la demande nutritionnelle de l'organisme (Faverdin *et al.*, 1997) mais sans développer un modèle mécanistique de l'ingestion (par ex. Sauvant *et al.*, 1996).

La capacité d'ingestion d'une vache décroît dans les dernières semaines qui précèdent la mise bas puis s'accroît ensuite très rapidement au cours des 60 jours qui suivent.

La base de donnée sur laquelle s'est fait l'ajustement comprend 117 observations indépendantes de vaches Charolaises multipares en gestation et en lactation (données de Ingrand *et al.*, 1997, complétées d'une année supplémentaire). La CI est la résultante du produit d'un profil d'évolution dans le temps par une valeur maximale, en gestation, ou en lactation (CIG et CIL). Ces deux variables sont observées en moyenne avant le 30ème jour qui précède le vêlage, et à partir du 30ème jour qui suit le vêlage (Petit, 1978 et 1988). Elles peuvent s'exprimer en fonction du poids au vêlage, de la production laitière et de l'état d'engraissement des vaches au début de l'hiver :

$$\begin{array}{lll} \text{CIG} = 4.20 + 0.014 \times \text{Pvel} + 0.32 \times \text{P. Lait} - 1.11 \times \text{Note Ini} & \text{Sxy} = 1.19 & \text{cv} = 8.4\% \\ \text{CIL} = 5.31 + 0.015 \times \text{Pvel} + 0.39 \times \text{P. Lait} - 0.92 \times \text{Note Ini} & \text{Sxy} = 1.58 & \text{cv} = 8.8\% \end{array}$$

L'effet du niveau de production laitière est significatif même lorsque la vache est tarie en gestation. L'exposant du poids dans ces équations a été déterminé préalablement par ajustement d'une équation d'allométrie. Il n'est pas significativement différent de 1.

L'évolution dans le temps a été ajustée à deux modèles logistiques différents en gestation et en lactation. Les asymptotes retenues dans chacun de ces deux modèles sont CIG et CIL. Le paramètre  $t$  est exprimé en jours par rapport au vêlage. Les ajustements s'écrivent alors

$$\begin{array}{ll} \text{En gestation (} t < 0 \text{)} & \text{CI} = \text{CIG} \times (1 - 0,081 \exp(0,082 t)) \\ \text{En lactation (} t > 0 \text{)} & \text{CI} = \text{CIL} \times (1 - 0,205 \exp(-0,06 t)) \end{array}$$

Au vêlage la capacité d'ingestion correspond à 92% de la capacité du 8ème mois de gestation et à 80% du 2ème mois de lactation.

En considérant que l'effet de l'état d'engraissement sur la CI mesuré entre animaux est semblable à l'effet de variations d'état intra animal, on peut utiliser ces équations d'ajustement en entrée du modèle des réserves corporelles. Une expérimentation est en cours pour valider cette hypothèse et les premiers résultats la confortent.

### 2.1.3. Production laitière et liaison mère-jeune

En élevage bovin allaitant le jeune reste sous la mère pendant une longue période (de 5 à 8 mois selon les systèmes d'élevage) et boit le lait produit par sa mère. La quantité de lait bu -de 6 à 9 kg/jour selon les races- détermine en grande majorité la croissance dans le jeune âge (0-3 mois).

Le couple mère-jeune est interactif. La quantité de lait bu peut stimuler la production de la mère ou au contraire la réduire si le jeune animal (à sa naissance par exemple) n'est pas capable de boire tout le lait disponible (cas d'une vache forte productrice Salers, par exemple). Un premier travail privilégiant cette approche mécaniste (Blanc *et al.*, 1999, 2000) a permis de formaliser un tel modèle de la production sous contrôle de la double régulation de la mère et du jeune pour les 60 premiers jours de lactation, avant que le veau ne commence à ingérer des aliments solides. Le modèle de production de lait est développé sur une base simplifiée de celui de Neal et Thornley (1983). La croissance du jeune ne dépend que de l'énergie du lait ingéré, elle-même régulée par le poids. Les principaux facteurs de variation supplémentaires pris en compte sont le nombre de tétées par jour, le poids du veau et son potentiel de croissance (exprimé par sa race). Ce type d'approche ne peut pas encore pour l'instant être intégré dans un modèle prédictif, car il faudrait pouvoir intégrer les effets supplémentaires des conditions

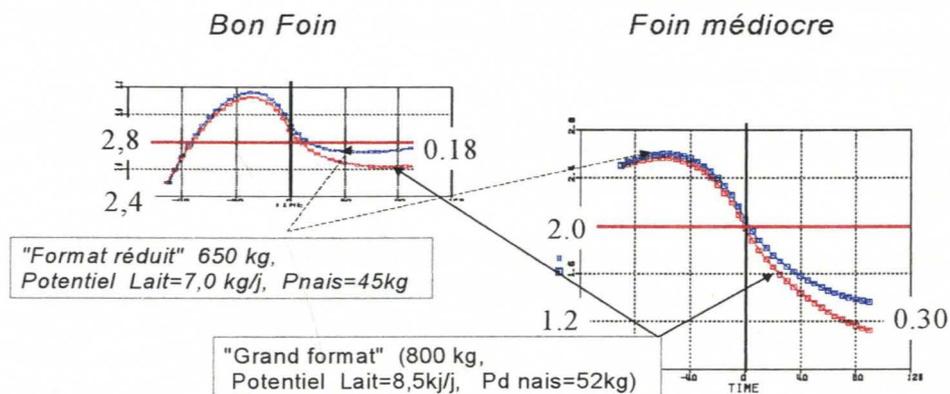
sanitaires de la mise bas, de la vigueur du veau à la naissance, et enfin du niveau des apports alimentaires de la mère.

Expérimentalement, la production de lait bu par les veaux varie peu selon l'alimentation ou l'état des réserves corporelles de la mère (Agabriel et Petit, 1987). Ce n'est que lorsque la vache a été placée pendant plusieurs mois dans un milieu nutritionnel défavorable que s'observe une baisse maximale de la production de 1 litre de lait/jour par rapport à un témoin (Dhour *et al.*, 1995). Dans une première approche, on peut donc se satisfaire d'un ajustement moyen de la production laitière observée sur les vaches des domaines expérimentaux (Petit, 1988 ; INRA, 1990), sans modification induite par des facteurs de l'environnement. Cette production exprimée en kg/j peut s'ajuster homothétiquement selon le potentiel de la vache.

## 2.2. Exploration du modèle des réserves corporelles autour du vêlage

Les simulations sur 160 jours permettent de mettre en évidence les effets respectifs du format et du potentiel laitier lorsque les vaches reçoivent un foin d'ingestibilité élevée (0,68 UFL, 1,15 UEB) ou médiocre (0,60 UFL, 1,35 UEB). Par rapport à une vache de référence (650 kg, 7,0 kg de lait/j, veau de 45 kg à la naissance), une vache de grand format (800 kg) et "laitière (8,5 kg/j)" n'est que peu affectée par le potentiel laitier lorsque le milieu nutritionnel est favorable : l'écart d'état simulé entre ces deux vaches n'est que de -0,18 point de note pour un même état initial 2,5. Il l'est presque deux fois plus lorsque le foin est médiocre (figure 2). A l'inverse, une vache de format normal (650 kg) mais de bon potentiel laitier (8,5 kg/j) serait fortement affectée par rapport à une grande (800 kg) peu laitière (7,0 kg/j) quel que soit le foin qu'elle reçoit.

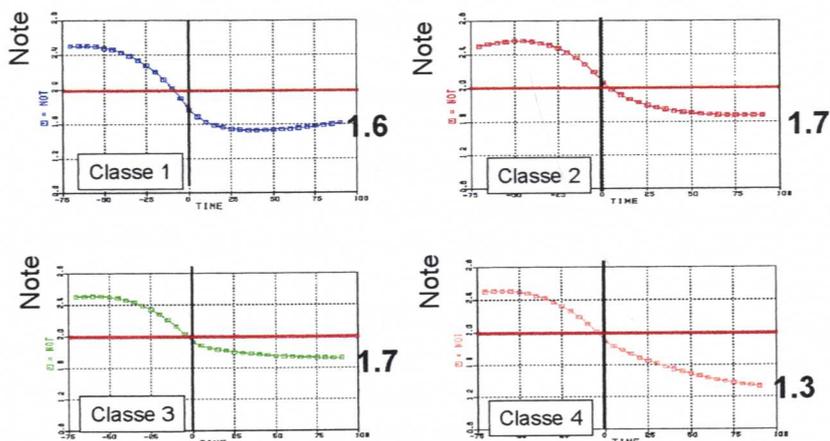
Figure 2 : Simulation des effets du Format et du Potentiel des Vaches



Il est également possible d'enrichir l'exploration de ce modèle moyen en intégrant des « profils » d'évolution de la CI différents. Quatre profils peuvent être mis en évidence par une technique de classification adaptée (Ingrand et Agabriel, 1997). L'ajustement des modèles de la CI à chacun de ces profils permet d'observer la diversité des stratégies d'adaptation des vaches (figure 3) avec une augmentation plus ou moins rapide de leur ingestion avant ou après le vêlage. Les notes d'état finales simulées lorsque les vaches reçoivent un même foin de qualité médiocre à volonté, varient peu. Seule la classe 4 qui correspond au profil d'ingestion "plat"

entre la gestation et la lactation, est davantage pénalisée. Par contre quoique terminant au meilleur état, les vaches de la classe 1 (baisse importante avant vêlage et augmentation régulière par la suite) sont celles qui sont les plus maigres au vêlage. Cela pourrait avoir des conséquences sur la réussite de leur reproduction.

Figure 3 : Simulation des évolutions de l'état corporel (foin médiocre) pour différents profils d'ingestion autour du vêlage (modélisé d'après les données de Ingrand et al., 1997) (Vache 750 Kg, état initial 2,5 Production 8,0 kg/j poids du veau, 52 kg)



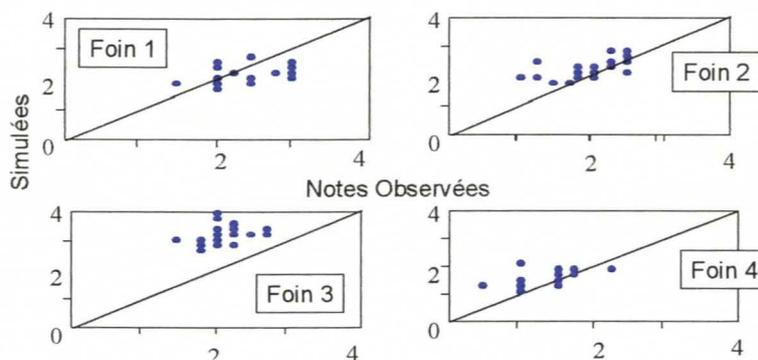
Les simulations répétées des effets du poids et/ou de la production laitière selon la qualité du foin peuvent être faites pour chacun des profils. Une augmentation du format de 200 kg se traduit par exemple par une amélioration simulée de l'état final des réserves de 0,15 à 0,33 points variable selon la qualité du foin et le profil des vaches. Les vaches dont la CI varie peu après le vêlage (classe 4) sont celles qui profitent le plus de cette augmentation du format surtout quand le foin est ingestible.

Dans nos simulations, l'augmentation du format de la vache ne semble donc jamais défavorable quels que soient le fourrage distribué et le type de vache qui le reçoit.

Ce modèle permet donc déjà de tester des situations d'élevage variées, mais il devra néanmoins évoluer. En effet confronté aux notes d'état observées et mesurées expérimentalement sur des vaches Charolaises, il sous-estime les variations réelles (figure 4). L'amélioration des prévisions viendra certainement d'une meilleure simulation de l'ingestion et de sa régulation (point n°1) qui déterminent fortement l'état final des réserves, sachant que les productions varient globalement peu avec ce type de production. Le besoin d'entretien et sa régulation reste enfin une entité mal connue qui nécessiterait également une approche modélisatrice mécaniste.

Figure 4 Confrontation entre Notes simulées et notes observées

Foins	NB	Valeurs (UF/UEB)	Observée	Simulée	
1	20	0,85	2.41	2.11	-0.31
2	20	0.89	1.95	2.18	+0.07
3	27	1.13	2.08	3.12	+1.04
4	16	0.75	1.36	1.52	+0.16



### 2.3. Liaisons entre reproduction et paramètres de la nutrition chez la vache

Plusieurs modèles de la reproduction au sein des troupeaux existent et ont fait l'objet de publications. La réussite de la reproduction peut être interprétée comme une occurrence d'un événement arrivant à un individu, et se traduire par une probabilité. Ainsi le modèle développé par Oltenacu *et al.* (1980) permet la simulation de l'intervalle vêlage-vêlage d'une vache laitière placée dans un troupeau dont les paramètres zootechniques moyens peuvent varier. Ce modèle récapitule différentes « étapes » par lesquelles passe la femelle entre 2 vêlages : apparition de la cyclicité, observation des chaleurs, insémination, fécondité, gestation. Chacune est représentée par une loi stochastique (probabilité d'apparition de l'événement). L'intérêt d'un tel modèle est de pouvoir étudier l'influence et la sensibilité de chacune des étapes dans la constitution de la répartition de l'IVV moyen d'un troupeau. Les variables qui peuvent intervenir aux différentes étapes sont indiquées dans le tableau 1. Trois types se distinguent : les variables dépendant de l'animal (race, âge, état corporel...), celles dépendant de la méthode d'élevage (niveau alimentaire, conditions de la reproduction : IA ou monte naturelle) et enfin celles qui restent aléatoires (condition de la mise bas précédente...).

Tableau 1 : Etapes de la reproduction (d'après Oltenacu *et al.*, 1980)  
Variables impliquées dans leur durée

vêlage	Liées à L'animal	Contrôlée par la méthode d'élevage	Incontrôlée ou aléatoires
1ère cyclicité (Durée d'Anoestrus)	- Race - Etat corp. - Parité - (santé)	- Niveau Alimentaire - Flushing - Mise à l'herbe	•Condition de MB •Date de 1ère MB
Chaleurs et Ovulations		- Détection des chaleurs ? - Synchro?	
Insémination		- IA ou - Monte naturelle	% de réussite (IA)
Fécondation		- Nombre d'I.A. possibles - Durée de la présence du taureau	
Avortements (embryonnaires et autres)			- Fréquences
	- Durée de gestation		

Dans l'adaptation possible de ce modèle, il faut se placer au niveau de l'animal et simuler d'abord la levée de l'anoestrus post-partum. On peut considérer la probabilité d'apparition de la cyclicité sur une vache comme la loi de fréquence de l'intervalle vêlage / premier cycle sur un ensemble d'animaux. Une telle fréquence s'ajuste sur un modèle logistique entre 0 et 150 jours après vêlage. Sur 10 points moyens correspondant à 64 observations de primipares Charolaise (INRA Laqueuille non publié) l'ajustement suivant peut par exemple être fait :

$$\% \text{ de vaches cyclées} = 1 / (1 + 206 * \exp(-0.0827 t)) \quad S_{xy} = 0,01$$

Les coefficients de cet ajustement varient selon l'état des vaches ce qui laisse espérer de pouvoir quantifier l'effet de ce facteur lorsque le nombre de données sera suffisant.

Un travail en parallèle de regroupement d'informations de toute nature sur les facteurs extérieurs intervenant sur la cyclicité est donc entrepris, afin de les quantifier.

L'objectif est de constituer à partir des expérimentations réalisées sur les domaines de Marcenat et Laqueuille (qui n'avaient pas la reproduction comme résultat principal) une base de données qui permettra d'ajuster les paramètres selon les variables du tableau 1. On privilégie cependant les effets nutritionnels et les effets des conditions de mise bas.

Pour dépasser le simple ajustement d'une loi mathématique représentant la probabilité qu'une vache vienne en chaleur, on peut également envisager de développer un modèle mécaniste de la durée de l'anoestrus post-partum relié au modèle précédent des réserves corporelles. Actuellement, la définition et le choix d'un tel modèle théorique et mécaniste est également en cours de réflexion.

## Conclusion

Cet article a présenté un travail en cours qui va sans doute beaucoup évoluer. Cette première approche de ce que pourrait être un modèle « vache » repose sur de nombreuses hypothèses issues de notre expertise, qu'il convient de valider sur plusieurs jeux de données indépendants. La plus importante concerne l'intégration sur des périodes de temps court (journée) d'ajustements mathématiques observés sur des durées beaucoup plus longues (un à plusieurs mois). L'autre hypothèse forte tient au regroupement d'ajustements effectués de manière indépendante dans un même outil qui les fait fonctionner en parallèle. Des interactions n'ont peut-être pas assez été prises en compte, ou à l'opposé, de nombreux paramètres sont peut-être redondants. Une étude particulière de sensibilité du modèle aux variations de paramètres doit être conduite avant de proposer des simplifications. Ces paramètres seront adaptés aux races et numéros de lactation, car les sensibilités respectives des primipares et des multipares à des périodes de sous-alimentation ne sont, par exemple, pas identiques.

Il faut aussi continuer de développer de nouvelles parties. On peut citer ainsi la construction du lien entre les deux sous-modèles « réserves corporelles » et « reproduction » tout en les améliorant indépendamment. Il faut aussi dépasser la période de 4 mois correspondant à la stabulation hivernale de la vache et pouvoir intégrer la saison de pâturage du couple mère-veau, pour simuler complètement le cycle annuel de production d'une vache allaitante.

Enfin, puisque un des objectifs est de pouvoir intégrer ce modèle dans un simulateur de fonctionnement de troupeau, il faudra sans doute le simplifier. On pense ainsi le restreindre aux variables les plus pertinentes c'est-à-dire celles qui seront susceptibles de se modifier fortement selon les décisions de conduite et d'influer sur les résultats zootechniques et qui, en retour, pourraient amener à des modifications de ces décisions.

## Bibliographie

AGABRIEL J., PETIT M., 1987. Recommandations alimentaires pour les vaches allaitantes. Bull. Tech. CRZV Theix INRA., 70, 153-166.

BLANC F., 1998. Modélisation de la dynamique de l'allaitement en système d'élevage bovin allaitant. Etude de la relation entre la production laitière de la mère et la croissance du jeune. DEA Université J. Fourier, 26 pp.

BLANC F., AGABRIEL J., SABATIER P., 2000. Modelling interaction between cow milk yield and growth of its suckling calf. Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals. CAB International 2000, 211-226.

CHILLIARDY., REMOND B., AGABRIEL J., ROBELIN J., VERITE R., 1987. Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation - lactation. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix-INRA., 70, 117-131.

DHOUR P., PETIT M., PRADEL P., GAREL J.P., 1995. Evolution du poids et de la production laitière au pâturage de vaches allaitantes Salers et Limousines dans deux milieux. Renc. Rech. Ruminants. 2, 105-108.

FAVERDIN Ph., AGABRIEL J., INGRAND S., BOCQUIER F., 1997. Maximiser l'ingestion de fourrages par les ruminants : maîtrise des facteurs liés aux animaux et à leur conduite. Renc. Rech. Ruminants. 4, 65-74.

INGRAND S., AGABRIEL J., 1997. Typology of the evolution of intake by Charolais cows around calving. Animal Science, 65, 361-371.

INRA, 1978. "Alimentation des ruminants". R. Jarrige Ed. INRA Paris, 620 pp.

INRAtion, 1990. Logiciel de rationnement des Ruminants - Vaches allaitantes. In: AGABRIEL J., CHAMPCIAUX P., ESPINASSE C. Ed INRAtion - CNERTA 26 Bd du docteur Petitjean 21000 Dijon (France).

NEAL H.D.S.C., THORNLEY J.H.M., 1983. The lactation curve in cattle: a mathematical model of the mammary gland. Journal of Agricultural Science, Cambridge 101 : 389-400.

OLTENACU P.A., 1980. Modelling reproduction in a herd of dairy cattle. Agricultural systems 193-205.

PETIT M., AGABRIEL J., 1993. Etat corporel des vaches Charolaises : signification, utilisation pratique et relations avec la reproduction. INRA Prod. Anim., 6, 5, 311-318

PETIT M., 1988. Alimentation des vaches allaitantes. In: "Alimentation des bovins ovins caprins". R.Jarrige Ed. INRA Paris, 159-184.

ROBELIN J., AGABRIEL J., MALTERRE C., BONNEMAIRE J., 1990. Changes in body composition of mature dry cows of Holstein Limousine and Charolaise breeds during fattening. I: skeleton muscles fatty tissues and offal. Livest. Prod. Sci., 25, 199-215.

ROGUET C., FAVERDIN P., 1999. Modèle dynamique de la lactation des vaches laitières en fonction des apports énergétiques. Renc. Rech. Ruminants. 6, 156.

SAUVANT D., BAUMONT R., FAVERDIN P. 1996. Development of a mechanistic model of intake and chewing activities of sheep. J. Anim. Sci. , 74, 2785-2802.