

Prevision de l'ingestion des vaches laitières au cours de la lactation

FAVERDIN, P., DELAGARDE, R., DELABY, L.

INRA, UMR Production du Lait - 35590 Saint-Gilles, France

RESUME - La prevision des quantites ingerees constitue un enjeu majeur dans l'alimentation des ruminants. Ce travail presente les evolutions recentes du système des Unites d'Encombrement (U.E.) pour les vaches laitières dans le but de mieux prévoir les quantites ingerees au cours de la lactation en prenant en compte des strategies d'alimentation très différentes. La nouvelle equation de prevision de la capacite d'ingestion introduit un nouveau concept, celui de la production de lait potentielle pour traduire la demande energetique de la mamelle. Cette production potentielle ameliore la prevision de l'ingestion, en particulier pour des regimes qui ne permettent pas à la mamelle de produire autant de lait que sa capacite de synthèse. Par ailleurs, la valeur d'encombrement de l'aliment concentre, sensible au bilan energetique, a ete modifiée en debut de lactation pour prendre en compte l'apport de l'energie issu de la mobilisation. Ces evolutions apportent une composante dynamique importante dans la prevision de l'ingestion illustree au travers de quelques simulations. Elles vont permettre à terme d'elaborer des modèles d'evolution de la production laitière au cours de la lactation, sensibles à l'alimentation.

Prediction of intake by dairy cows during lactation

FAVERDIN, P., DELAGARDE, R., DELABY, L.,

INRA, UMR Production du Lait - 35590 Saint-Gilles, France

SUMMARY - The prediction of food intake constitutes a major issue in the nutrition of ruminants. This work presents the recent evolutions of the system Fill Unit System (U.E.) for dairy cows to better simulate the dry matter intake during lactation with different feeding management. The new equation to predict intake capacity introduces a new concept, the potential milk production, to translate the energy request of the mammary gland. This potential milk production improves the prediction of feed intake, especially with feeding management that does not allow the udder to produce as much as it could synthesize milk. Besides, the fill value of concentrates, a function of energy balance, is updated in early lactation to integrate the contribution of energy resulting from the mobilisation of body reserves. These evolutions bring an important dynamic component in the forecast of feed intake, illustrated by some examples, which will make it possible to work out models of lactation sensitive to the feeding management of dairy cows.

INTRODUCTION

Le système des unites d'encombrement propose dès la fin des années 70 (Jarrige *et al.*, 1979) a constitue une avancee majeure dans la prevision des quantites ingerees par les ruminants. Son principe simple suppose que la somme ponderee des valeurs d'encombrement des aliments ingeres doit être egale à la capacite d'ingestion de l'animal si celui-ci est alimente à volonte. Sa structure lui permet d'evoluer progressivement sans remettre en cause ses principes de base tout en ameliorant ses qualites predictives. Faisant suite aux revisions des valeurs d'ingestibilite de certains fourrages (Baumont *et al.*, 2005), cet article decrit les evolutions proposees pour calculer la capacite d'ingestion des vaches laitières et la substitution fourrages-concentres. Celles-ci vont permettre une meilleure prevision de l'evolution de l'ingestion au cours de la lactation mais également à terme une prevision de la reponse de production laitière. La nouvelle version d'INRAtion et la reedition de l'ouvrage "Alimentation des Bovins, Ovins, Caprins" intègrent cette nouvelle methode de prevision de l'ingestion pour l'alimentation des vaches laitières (Faverdin *et al.*, 2006). Après une presentation des evolutions majeures du système des U.E. pour les vaches laitières, cet article illustrera ces evolutions par quelques exemples.

1. MATERIEL ET METHODES

PRESENTATION DU MODELE

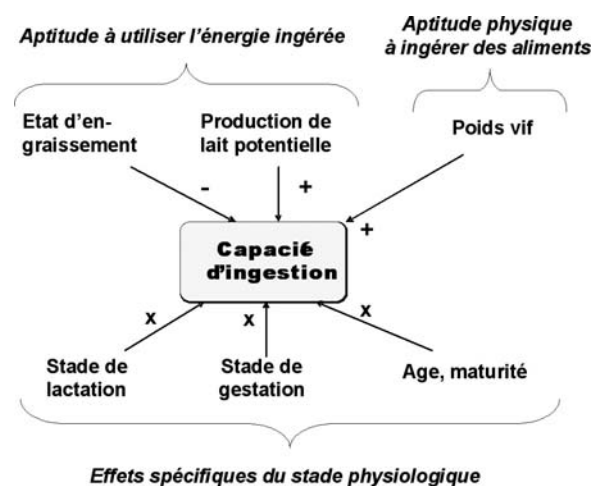
1.1. LE MODELE DE LA CAPACITE D'INGESTION

La capacite d'ingestion d'une vache laitière depend principalement de son aptitude metabolique à utiliser rapidement l'energie qu'elle ingère et de son aptitude physique à ingerer et à stocker dans les compartiments

digestifs les aliments ingeres. Ces mecanismes sont dependant modules par le stade physiologique de la vache, en particulier son âge, mais aussi son stade de lactation et de gestation. La figure 1 schematise la structure du nouveau modèle de la capacite d'ingestion en fonction de ces grands principes.

Figure 1 : schema du modèle de prevision de la capacite d'ingestion d'une vache laitière.

Les operateurs mathematiques indiquent comment ces variables sont prises en compte dans le modèle (effet positif +, negatif -, proportionnel x).



La nouvelle formule de la capacite d'ingestion combine les differentes variables de Poids vif = PV, Production de lait potentielle = PL_{pot} , Note d'etat corporel = NEC et les trois indices (de lactation = IL, de gestation = IG et de maturite = IM), de la maniere suivante :

$$CI = [13,9 + (0,015 \times (PV - 600)) + (0,15 \times PL_{pot}) + (1,5 \times (3 - NEC))] \times IL \times IG \times IM$$

La note d'état corporel a un effet négatif et traduit le fait que plus une vache est maigre, plus son appétit est grand. Le format, représente simplement par le poids vif, a un effet positif sur la capacité d'ingestion et traduit l'augmentation de capacité de l'appareil digestif à recevoir des quantités importantes d'aliments. Ce coefficient est plus important que par le passé lorsque la NEC n'était pas prise en compte. La nouvelle variable importante de ce modèle est la production de lait potentielle, PL_{Pot} qui peut être différente de la production observée. PL_{Pot} correspond à la capacité de synthèse de lait qu'aurait la mamelle à un moment donné si elle n'était pas limitée par la disponibilité en nutriments. Jusqu'ici, la prévision de la capacité d'ingestion ne prenait en compte que la production de lait observée. Ceci ne pose pas de problème lorsque l'objectif est de couvrir les besoins de production d'une vache, mais devient ambigu lorsque la production permise par la ration s'éloigne fortement de la production potentielle de la vache. Cette situation est souvent rencontrée avec un troupeau de vaches non complétement au pâturage par exemple (Delagarde *et al.*, 2006) ou lorsque les éleveurs choisissent volontairement de ne pas faire s'exprimer le potentiel des vaches (Brunschwig *et al.*, 2001). L'introduction de la PL_{Pot} permet de mieux prévoir les réponses d'ingestion, et à terme de production de lait en fonction de l'alimentation, malgré la relative ambiguïté de ce concept et la difficulté d'estimer cette production. Cette capacité dépend à la fois des caractéristiques physiologiques de la vache (âge, stade de lactation et de gestation), et de ses aptitudes génétiques.

En pratique, un modèle permet de décrire la courbe PL_{Pot} d'une lactation de vache primipare ou multipare en fonction de la production laitière au pic de lactation (PL_{MaxPot}), de la semaine de lactation (SemL) et de Gestation (SemG). La production potentielle de lait au pic de lactation peut être estimée selon trois méthodes en fonction des informations disponibles. Elle peut être estimée à partir de la production observée au pic si la vache reçoit une bonne ration en début de lactation et n'a pas connu de problème sanitaire sérieux au vêlage. Elle peut également être estimée plus précocement à partir de la production laitière initiale observée (PI, moyenne des jours 4, 5 et 6) lorsque la mesure de la production est possible en salle de traite, en multipliant PI par 1,15 pour une vache primipare et par 1,33 pour une vache multipare. Enfin, la production potentielle 305 jours d'une vache que l'on peut approcher par le meilleur niveau d'étable exprime, correspond en moyenne à la valeur PL_{MaxPot} multipliée par 224 pour une multipare et par 259 pour une primipare.

Primipares :

$$PL_{Pot} = PL_{MaxPot} \times [1,084 - (0,7 \times e^{-0,46 \times SemL}) - (0,009 \times SemL) - (0,69 \times e^{-0,16 \times (45 - SemG)})]$$

Multipares :

$$PL_{Pot} = PL_{MaxPot} \times [1,047 - (0,69 \times e^{-0,90 \times SemL}) - (0,0127 \times SemL) - (0,50 \times e^{-0,12 \times (45 - SemG)})]$$

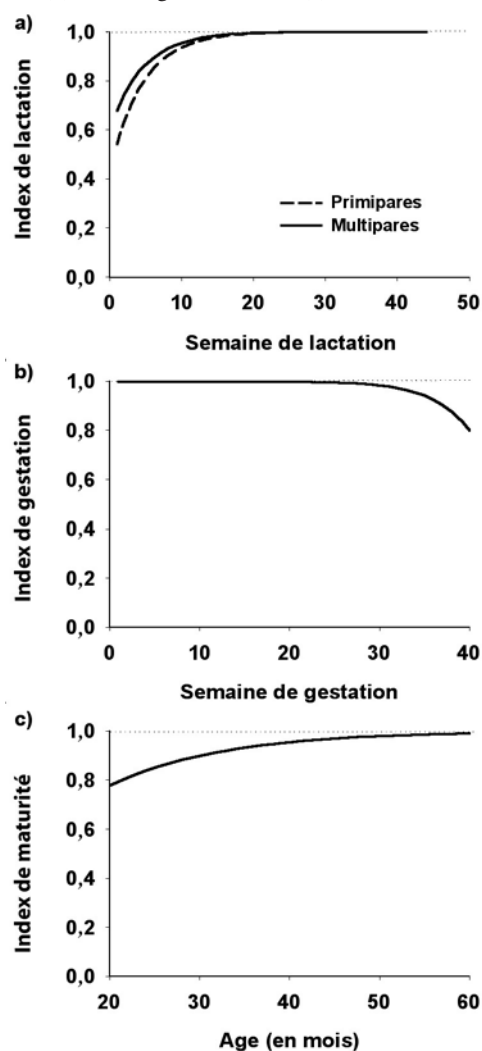
En pratique, une table permet d'estimer cette valeur sans passer par ces formules (Faverdin *et al.*, 2006).

Pour mieux prévoir la dynamique d'évolution de la capacité d'ingestion au cours de la vie de la vache, trois indices ont été introduits dans le modèle (figure 2). L'indice de lactation (IL) traduit l'évolution, légèrement différente entre primipares et multipares, de la capacité d'ingestion au cours des premières semaines de lactation (SemL).

$$IL = a + (1 - a) \times (1 - e^{-0,16 \times SemL}),$$

avec $a=0,6$ pour les primipares et $a=0,7$ pour les multipares.

Figure 2 : évolution des différents indices modulant la capacité d'ingestion en fonction du stade de lactation (a), du stade de gestation (b) et de l'âge de la vache (c).



L'indice de gestation (IG) traduit la diminution de capacité d'ingestion observée au cours des dernières semaines de gestation (Semaine G).

$$IG = 0,8 + 0,2 \times (1 - e^{-0,25 \times (40 - SemG)})$$

L'indice de maturité (IM) permet de décrire l'évolution de la capacité d'ingestion en fonction de l'âge de la vache (âge en mois). Il permet de prendre en compte le fait que la capacité d'ingestion d'une primipare est, même corrigée du poids vif, plus faible que celle d'une multipare, mais aussi qu'elle va évoluer en fonction de l'âge au premier vêlage.

$$IM = -0,1 + 1,1 \times (1 - e^{-0,08 \times age})$$

La nouvelle équation de la capacité d'ingestion permet de prendre en compte beaucoup plus de facteurs de variation que par le passé mais requiert également plus d'informations. Dans la pratique, des valeurs moyennes pourront être utilisées par défaut en l'absence d'informations précises spécifiques ($NEC = 3$, $SemG = SemL - 13$, ...).

1.2. LA SUBSTITUTION FOURRAGES - CONCENTRES INTEGRE LA MOBILISATION DES RESERVES EN DEBUT DE LACTATION

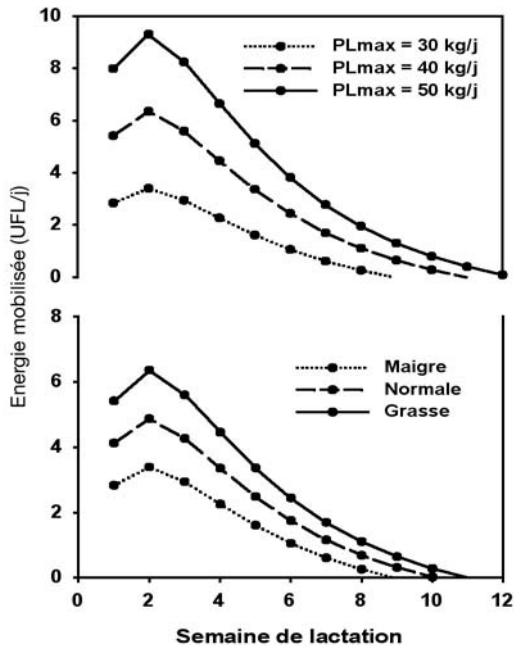
Dans le système des unités d'encombrement, les aliments concentrés ont une valeur d'encombrement (VE_C) variable fonction du taux de substitution fourrages-concentrés Sg selon l'équation $VE_C = UFL_F \times Sg$. Le taux Sg varie en fonction de la situation énergétique de la vache. Le modèle

precedent de substitution ne permettait pas de bien traiter le cas du debut de lactation et se revelait très complexe à calculer en dehors de la couverture des besoins. Ces deux limites ont ete en partie levees par l'evolution du modèle de substitution fourrages-concentres.

La substitution fourrages-concentres augmente en fonction du bilan energetique de la vache. Comme celui-ci est très deficitaire en debut de lactation, l'equation predisait des valeurs d'encombrement très faibles de l'aliment concentre qui n'ont pas ete observees experimentalement. En fait, en debut de lactation, tout se passe comme si la mobilisation des reserves etait en partie programmees lors de la mise en place de la lactation et fournissait un apport energetique consequent en supplement de l'energie ingeree. Pour calculer le taux de substitution, le modèle n'utilise donc plus le bilan energetique mais un bilan energetique theorique (BilUFL_{th}) qui integre egalement l'apport d'energie par la mobilisation potentielle des reserves (MPR, exprimee en UFL/j) :

$$BilUFL_{th} = UFL_{ingerees} + MPR - BesoinUFL(entretien + PL_{Pot})$$

Figure 3 : evolution de la mobilisation potentielle des reserves (en UFL/j) d'une vache multipare en debut de lactation en fonction de sa production potentielle au pic de production et de sa note d'etat corporelle au vêlage (maigre = 2, normale = 3,25, grasse = 4,5).



MPR s'accroît avec la production potentielle (PL_{MaxPot}), et l'état corporel au vêlage (NEC_{vel}) et presente une intensite maximale en 2^{ème} semaine de lactation suivant l'equation :

$$MPR = -1 + \left[1,33 \times (a + (0,47 \times PL_{MaxPot}) + (1,89 \times NEC_{vel})) \times (e^{-0,25 \times SemL} - e^{-SemL}) \right]$$

Avec a = -9,5 pour une primipare et -13,2 pour une multipare. Si la valeur obtenue est negative, il faut utiliser MPR=0. La figure 3 illustre diverses courbes de MPR en fonction de la production ou de la NEC au vêlage.

Cette procedure nouvelle de calcul pour simuler le debut de lactation ne peut être realisee facilement qu'avec des outils de calcul comme INRATION.

En dehors de cette modification, de nouvelles equations sont proposees pour calculer la valeur d'encombrement des aliments concentres sans passer par les equations de base du système des U.E. qui sont complexes et requièrent une procedure iterative. La nouvelle equation de la capacite

d'ingestion conduit à une legère modification de l'equation simplifiee de prevision du taux de substitution lorsque la ration permet de couvrir les besoins lies à la production de lait potentielle (Sg_E). La nouvelle equation devient :

$$Sg_E = d \times PL_{Pot}^{-0,62} \times e^{1,32 \times DE_F}$$

avec d = 0,96 pour une primipare et d = 1,1 pour une multipare, DE_F correspondant à la densite energetique moyenne des fourrages de la ration (UFL_F/UEL_F).

Pour calculer le taux de substitution (Sg) lorsque l'on apporte une quantite d'aliments concentres (QI_C) differente de celle permettant la production de lait potentielle, il est possible, après avoir calcule Sg_E, d'utiliser l'equation simplifiee suivante :

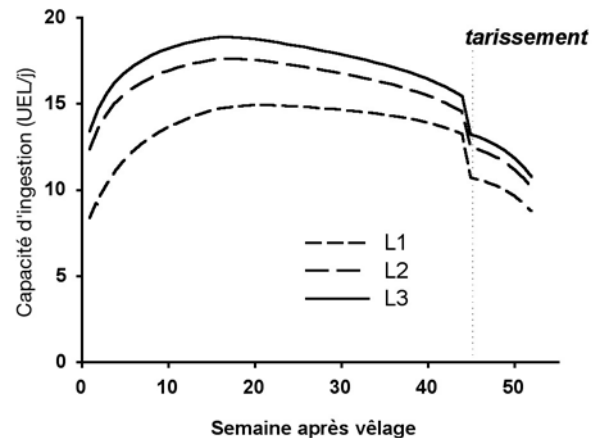
$$Sg = -0,43 + (1,82 \times Sg_E) + (0,035 \times QI_C) - (0,00053 \times PL_{Pot} \times QI_C)$$

2. RESULTATS

Cette evolution du système des unites d'encombrement offre des possibilites interessantes pour simuler les quantites ingerees quel que soit le regime et le stade de lactation avec les mêmes principes de calculs. Trois exemples de simulations realisees avec ces nouvelles equations vont illustrer ces nouvelles possibilites : 1/ l'evolution de la capacite d'ingestion, 2/ les variations de la valeur d'encombrement de l'aliment concentre et 3/ une comparaison avec des donnees experimentales presentant les variations d'ingestion en debut de lactation, cette simulation faisant appel à toutes les nouvelles equations.

2.1. VARIATION DE LA CAPACITE D'INGESTION AU COURS DE LA VIE D'UNE VACHE LAITIERE

Figure 4 : evolution de la capacite d'ingestion d'une vache d'un potentiel adulte de 9000 kg de lait (en 305 jours) au cours des 3 premières lactations (L1, L2, L3).



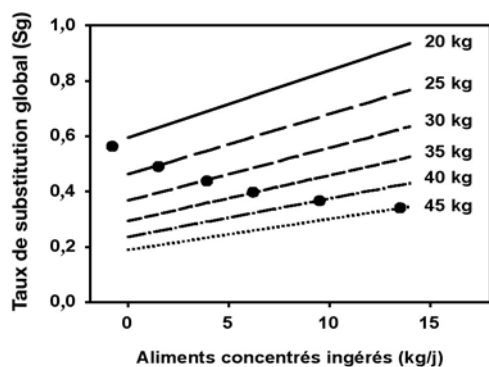
La nouvelle equation de prevision de la capacite d'ingestion permet de decrir la dynamique de celle-ci au cours de la vie de la vache, ce qui n'était pas possible auparavant. A partir des simulations de PL_{Pot}, il est facile de calculer les evolutions de la capacite d'ingestion d'une vache. La figure 4 illustre l'evolution de la CI d'une vache vêlant la première fois à 2 ans et ayant un potentiel de production adulte de 9 000 kg de lait en 305 jours (valeurs de PL_{MaxPot} : 28,5, 37,0 et 39,7 en 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} lactation). Ces courbes integrent les variations moyennes de poids, en particulier avec l'âge, et d'état corporel des vaches au cours de la lactation. La baisse de CI au tarissement est due au fait qu'il n'y a plus de demande d'energie par la mamelle (PL_{Pot} = 0). Cet effet n'est physiologiquement pas aussi rapide, mais permet de traduire la restriction alimentaire qui accompagne le tarissement.

2.2. VARIATION DE LA VALEUR

D'ENCOMBREMENT DE L'ALIMENT CONCENTRE

La valeur d'encombrement de l'aliment concentré augmente avec la quantité d'aliments concentrés ingérée. L'équation proposée pour le calcul de S_g permet aujourd'hui de calculer plus simplement la valeur d'encombrement de l'aliment concentré sans passer par un logiciel intégrant la totalité du modèle de substitution. La figure 6 illustre cette possibilité avec des vaches laitières de production de lait potentielle allant de 20 à 45 kg/j pour une ration ayant une densité énergétique de 0,9 UFL/UEL. La variation d'encombrement est moins importante lorsque le niveau de production s'accroît. Ceci s'explique largement par la valeur du S_{gE} qui diminue lorsque le niveau de production s'accroît à cause d'un niveau de concentré plus important pour couvrir les besoins de ce niveau de production.

Figure 5 : évolution du taux de substitution global de l'aliment concentré en fonction de la quantité d'aliment concentré ingéré et du niveau de production potentiel des vaches (20 à 45 kg) pour une ration avec un fourrage de 0,9 UFL et 1 UEL par kg de MS. Dans ce cas, le S_g correspond à la valeur d'encombrement de l'aliment concentré. Les cercles pleins représentent la valeur du S_g lorsque la ration couvre les besoins (S_{gE}).

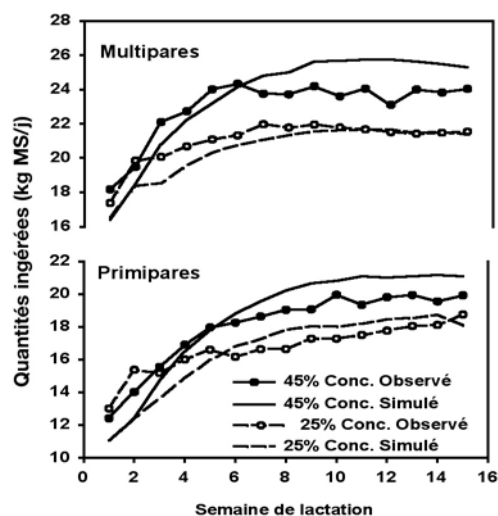


2.3. VARIATION DES QUANTITES INGEREES EN DEBUT DE LACTATION AVEC DIFFERENTS NIVEAUX D'ALIMENTS CONCENTRES

Les évolutions de la capacité d'ingestion et de la valeur d'encombrement de l'aliment concentré permettent de simuler l'ingestion de différentes rations en début de lactation. A titre d'exemple, la figure 6 présente les courbes d'ingestion simulées et observées avec deux types de rations complètes (25 et 45 % de concentré) pour des vaches primipares et multipares (Faverdin *et al.*, 2002).

Les cinétiques d'ingestion sont globalement assez bien simulées compte tenu de la grande variabilité de l'ingestion à cette période. Avec des niveaux élevés d'aliments concentrés, les prévisions d'ingestion sont néanmoins parfois surestimées du fait de la survenue de situations plus ou moins prononcées de subacidose qui restent difficiles à prévoir et à modéliser.

Figure 6 : comparaison de l'ingestion en début de lactation d'une ration complète avec 25 % ou 45 % d'aliments concentrés pour des vaches primipares (6 vaches/lot) et multipares (10 vaches/lot) avec sa prévision par le système actuel des unités d'encombrement.



CONCLUSION

Les évolutions du système des U.E. permettent la prévision des quantités ingérées avec des très nombreuses rations hivernales mais également au pâturage seul ou avec différentes complémentations (Delagarde *et al.*, 2004, Delagarde *et al.*, 2006), et pour l'ensemble du cycle de production. La prise en compte du potentiel de production et de l'âge va conduire à une meilleure estimation des différences entre génotypes et entre vaches. Les nombreux résultats expérimentaux acquis ces dernières années ont permis d'affiner la structure du modèle et son paramétrage. Faute de données suffisantes, le modèle n'intègre cependant pas les effets de l'environnement (température, humidité). Couple à un modèle de production, le système des U.E. permet d'envisager de simuler l'impact de différentes stratégies d'alimentation au cours de la lactation.

Baumont R., Dulphy J.P., Doreau M., Peyraud J.L., Nozières M.O., Andueza D., 2005. Renc. Rech. Rum., 12: 85-92
 Brunschwig P., Veron J., Perrot C., Faverdin P., Delaby L., Seegers H. 2001. Renc. Rech. Rum., 8: 237-244
 Delagarde R., Faverdin P., Baratte C., Peyraud J.L. 2004. Renc. Rech. Rum., 11: 295-298
 Delagarde R., Delaby L., Faverdin P., 2006. Renc. Rech. Rum., 13: Ce volume
 Faverdin P., Thenard. V., Marcant O., Trommenschlager J.M. 2002. Renc. Rech. Rum., 9: 291-294
 Faverdin P., Delagarde R., Delaby L., Meschy F. 2006. In: Alimentation des bovins, ovins, caprins. Editions QUAE
 Jarrige R., Demarquilly C., Dulphy J.P., Hoden A., Robelin J., Beranger C., Geay Y., Journet M., Malterre C., Micol, D., Petit M., 1979. Bull. Techn. CRZV Theix, 38, 57-79