

Construction d'un simulateur de croissance des jeunes bovins en engraissement

RIGOT F. (1), CABON G. (2), GARCIA F. (3), MICOL D. (3), AGABRIEL J. (3)

(1) ARVALIS - Institut du végétal, ferme expérimentale des Bordes, 36120 JEU LES BOIS

(2) ARVALIS - Institut du végétal, station expérimentale de la Jaillière, 44370 LA CHAPELLE SAINT-SAUVEUR

(3) INRA-URH, Theix, 63122 SAINT GENES CHAMPANELLE

RESUME - Une base de données a été construite pour regrouper les résultats d'essais d'engraissement de taurillons. L'unité retenue est la « bande » pour laquelle il existe des données d'alimentation. La base concerne les aliments utilisés et leur composition, les pesées des animaux (chaque mois environ), les quantités d'aliments consommés entre deux pesées, ainsi que les données d'abattage. Cette base est renseignée sur cent soixante quatorze bandes de sept à vingt et un animaux suivies dans des essais d'ARVALIS – Institut du végétal ; elle concerne majoritairement des animaux de race à viande (47 % charolaise, 25 % limousine, 3 % blonde d'aquitaine et 25 % de races laitières). Les rations sont essentiellement à base de maïs fourrage (associé en moyenne à 34 % de concentrés) ou des rations sèches (83 % de concentrés).

L'ingestion de matière sèche a été ajustée en tenant compte d'une part des caractéristiques des animaux (race, poids vif) et d'autre part de la composition de la ration (teneur en cellulose apportée par les fourrages, teneur en amidon et teneur en concentrés...). L'écart-type résiduel de la prédiction d'ingestion est de 0,4 kg de MS. Par ailleurs, nous avons appliqué aux données individuelles de croissance de la base, le modèle MECSIC (INRA, 2004) prédisant les évolutions des tissus (protéines et lipides), ce qui a permis de réajuster deux paramètres du modèle avec ces données expérimentales récentes.

Ces deux travaux ont été réunis dans un prototype de simulateur de croissance permettant de décrire, à partir des données d'entrée (race, poids vif, ration), l'ingestion et la croissance des animaux au jour le jour, le poids estimé de leur carcasse et des dépôts adipeux correspondants. Ce simulateur, à l'état de prototype, doit être amélioré sur plusieurs points pour être opérationnel.

Development of a tool to simulate the growth of fattening young bulls

RIGOT F. (1), CABON G. (2), GARCIA F. (3), MICOL D. (3), AGABRIEL J. (3)

(1) ARVALIS - Institut du végétal, ferme expérimentale des Bordes, 36120 JEU LES BOIS

SUMMARY - A database was built to collect results from fattening young bulls' trials. Units are feedlots of 7 to 21 animals, to which diet data are linked. Beyond diet composition, the database contains the monthly body weight of bulls, the intake of each nutrient between 2 weighing, and the carcass appreciation at the slaughterhouse. The database is completed with the data of 174 groups coming from the trials of ARVALIS. Most of them concern bulls of beef breeds (47 % Charolais, 25 % Limousin, 3 % Blonde d'Aquitaine and 25 % dairy breeds). Diets are mostly based on maize silage (associated with 35 % of concentrates on average) or on dry diets (with 83 % of concentrates).

We have built a statistical model of dry matter intake (DMI), based on bull characteristics (breed, live body weight) and on diet composition (forages' crude fiber, starch or concentrate percentage in the total diet...). The standard error of the prediction of intake is as low as 0.4 kg of DM. We have applied the INRA growth model MECSIC to the datasets. The model predicts carcass protein and fat deposition in growing cattle. Some parameters of this model have been fitted to these up-to-date datasets.

Both models were linked in a simulator tool. This simulator transforms input data (breed, live weight, diet) in daily growth, body weight and carcass composition. (muscle and fat content). The prototype of simulator has to be improved before dissemination.

INTRODUCTION

Dans un contexte économique et réglementaire fluctuant, la filière d'engraissement de jeunes bovins (JB) a besoin de références actualisées concernant les itinéraires de production. Pour adapter les carcasses aux demandes du marché, c'est l'alimentation qui constitue le principal levier d'ajustement à court terme. Comme toute modification de rations peut avoir un impact technique sur les performances et un impact économique sur la rentabilité de cette activité, seul un outil de simulation permet d'évaluer rapidement un nombre important de situations.

Le logiciel INRAtion (INRA, 1988), permet de calculer les rations d'engraissement à un instant donné. Il n'intègre pas l'effet cumulé dans le temps de différents itinéraires de production. Dans ce logiciel, la race et le poids déterminent l'état corporel et la composition du gain et donc le besoin (Garcia *et al.*, 2007). Il ne fait pas aisément le bilan de toute la période d'engraissement.

Par ailleurs, de nombreux résultats d'essais d'engraissement sont disponibles, mais il est difficile de les utiliser directement pour le conseil et d'extrapoler leurs résultats à des situations diverses quand les caractéristiques des animaux sont différentes (race et niveau génétique, poids initial ou final) ou quand les aliments disponibles évoluent.

Une collaboration entre ARVALIS – Institut du végétal et l'INRA a permis d'exploiter en commun des résultats d'essais, dans la perspective de créer un simulateur couvrant toute la période d'engraissement. Après avoir constitué une base de données, le travail a consisté à établir un ajustement statistique de l'ingestion puis à actualiser le paramétrage du modèle dynamique de croissance MECSIC proposé par l'INRA (Hoch et Agabriel, 2004) pour des rations et des génotypes récents.

1. MATERIEL ET METHODES

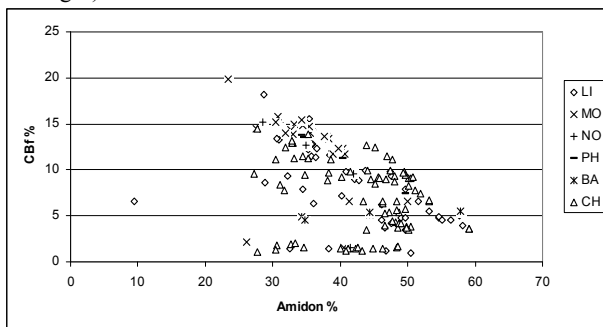
1.1. CONSTRUCTION D'UNE BASE DE DONNEES

Nous avons rassemblé dans une base de données les résultats des essais d'engraissement de JB conduits par ARVALIS - Institut du végétal depuis vingt ans. Cette base, sous Excel, regroupe les données de cent soixante quatorze bandes de JB de six races différentes, étudiées en essai dans quatre stations : La Jaillière (44), Jeu les Bois (36), Kerlavic (29) et Montardon (64). La base est structurée en trois parties : les aliments (composition chimique et valeurs nutritives), les données animales moyennes par bande (Poids vif PV, caractéristiques des carcasses), les quantités de matière sèche ingérée (MSI) de chaque aliment par les bandes (cases) entre deux pesées (1721 périodes). Le gain moyen quotidien (GMQ) est calculé à partir de ces données. Le tableau 1 présente les données moyennes concernant les JB et la figure 1 montre la diversité des rations étudiées.

Tableau 1 : caractéristiques et performances moyennes par race des bandes de la base de données

Race	LI	CH	MO	NO	PH	BA
Nombre de bandes	44	81	35	4	4	6
Effectif moyen de la bande	15,5	14,0	14,5	15,8	13,0	10,0
Age à la mise en lot (j)	253	245	-	-	187	202
PV mise en lot (kg)	321	317	216	215	181	279
PV début essai (kg)	356	350	282	252	213	310
PV à l'abattage (kg)	652	702	669	662	502	629
Poids de carcasse (kg)	397	407	367	362	255	401
Durée d'engraissement (j)	267	253	398	333	275	255
GMQ période expérimentale (g/j)	1320	1622	1127	1355	1305	1388

Figure 1 : diversité des rations : en abscisse la teneur en amidon et en ordonnée la teneur en cellulose brute fibreuse (CB des fourrages) en % de la MSI



1.2. AJUSTEMENT STATISTIQUE DE L'INGESTION

Pour chaque bande de JB, sauf quelques rares exceptions, la MSI augmente régulièrement avec le PV. C'est pourquoi une relation de type $\log(MSI) = a \log(PV) + \Delta i$ a été ajustée, où Δi représente l'effet de chaque bande.

On établit cette relation sans les données de la première période de croissance de chaque bande, trop influencée par la transition alimentaire imposée aux JB.

Dans un deuxième temps, on cherche à expliquer Δi à partir des autres paramètres disponibles (race, composition de la ration). Les seuls paramètres de composition de la ration que l'on puisse utiliser sont ceux disponibles pour

toutes les bandes (pourcentage de concentré, teneur en amidon, en CB ou en MAT).

Une première approche a été réalisée graphiquement sous Excel pour valider les choix de variables d'intérêt. Puis une analyse de régression linéaire mixte a été réalisée avec le logiciel SAS (procédure « mixed ») pour établir les valeurs des paramètres.

La construction du modèle statistique s'est faite sur la moitié des données (bandes paires) de telle sorte que l'autre moitié serve à le valider.

1.3. ESTIMATION DES PARAMETRES DU MODELE DE CROISSANCE MECSIC

Le modèle mécaniste de simulation de la croissance MECSIC (Hoch et Agabriel, 2004) prédit le dépôt de protéines et de lipides dans les deux entités « carcasse » et « non carcasse » composant la masse corporelle (ou poids vif vide PVV). La principale donnée d'entrée est l'énergie métabolisable quotidiennement ingérée (EMI). Les variables de sortie correspondent à la composition chimique du PVV qui peut être transformée en composition tissulaire. C'est notamment le cas de la carcasse qui peut alors être exprimée en muscles totaux, dépôts adipeux et squelette (Hoch *et al.*, 2005) Le modèle peut ensuite estimer le poids des contenus digestifs selon Robelin *et al.* (1980) pour ainsi estimer le poids vif et sa variation et les rendements carcasse.

Pour fonctionner, MECSIC utilise vingt sept paramètres. Certains de ces paramètres sont communs à tous les types de bovins pour lesquels le modèle a été construit, d'autres sont spécifiques d'une race ou d'un type d'animal.

Deux paramètres sensibles définissent notamment le format des compartiments « protéines » à la maturité de l'animal : respectivement PROT_cmax et PROT_{nc}max (quantité de protéine, à maturité, dans la carcasse « c » et dans le reste du bovin « nc »). Les écarts entre la situation du jour j (PROT_c et PROT_{nc}) et leurs valeurs maximales influencent la quantité de protéines et de lipides déposés ce même jour.

La base de données est utilisée pour estimer ces deux paramètres. Par itérations successives, on fait varier les caractéristiques du bovin moyen représentant la bande à simuler, et on calcule la différence entre les données observées de PV moyens et les données calculées par MECSIC. C'est le PV en fin de période expérimentale qui sert de référence ; en effet la donnée ultérieure (poids d'abattage) est calculée avec une durée de présence inégale de tous les animaux de la bande. Pour une bande donnée, l'opération est renouvelée jusqu'à ce que la somme des carrés des écarts soit proche de zéro.

2. RESULTATS

2.1. INGESTION

2.1.1. Liaison entre Ingestion et PV

La liaison entre MSI et PV est forte. Ainsi pour les 1547 valeurs de MSI de la base (hors les premières périodes influencées par la transition), une régression linéaire simple entre MSI et PV explique plus de 60 % de la variation totale d'ingestion.

La régression calculée selon l'équation (1) :

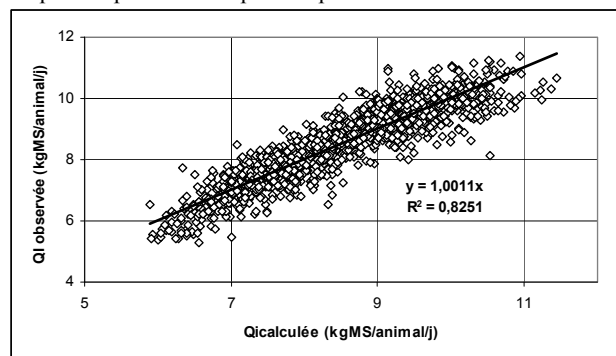
$$\log(MSI) = a \log(PV) + \Delta i$$

explique 82,5 % des variations d'ingestion .

Dans cette équation, la constante « a » a une valeur proche de 0,5. L'accroissement de l'ingestion par rapport au poids est d'autant plus faible que l'animal est lourd et donc en-

graisé. Cette constante traduit ainsi l'effet négatif de l'engraissement de l'animal sur la capacité d'ingestion. Pour la suite des calculs, on a conservé cette valeur de 0,5. Le terme Δi s'ajuste sur une valeur de -0,42 qui correspond au coefficient moyen d'évolution de l'ingestion en fonction du poids pour une bande moyenne. Ainsi pour cette bande se situant dans la moyenne, l'ingestion est de : $MSI = 0,38 \times PV^{0,5}$ (puisque $10^{-0,42} = 0,38$)

Figure 2 : représentation de l'ingestion observée en fonction de l'ingestion calculée par le modèle (équation 1). Un point représente une période pour une bande de JB.



2.1.2. Modélisation de l'effet « bande »

L'effet résiduel « bande » ($EB = \Delta i$) observé sur l'ingestion dépend de la race bovine (RB) et de la composition de la ration. Les races laitières ingèrent moins que les races à viande et au sein de ces dernières les Limousins ingèrent le moins. Ces résultats sont homogènes à ceux de Garcia *et al.*, 2007. Nous avons pu mettre également en évidence un effet de la teneur en amidon de la ration (baisse de l'ingestion en cas de forte teneur en amidon Ami), un effet de la proportion de fourrage fibreux (baisse de l'ingestion liée à l'augmentation de la teneur en cellulose apportée par les fourrages CBf), un effet de la proportion de concentré, en comptant l'amidon apporté par les fourrages (ensilage de maïs) dans les concentrés (l'ingestion diminue s'il y a trop ou trop peu de ces concentrés CoAf). L'équation obtenue est la suivante :

Equation 2 :

$$EB = RB - 0,225 \text{ Ami}^2 - 0,555 \text{ CBf} + 0,208 \text{ CoAf} - 0,175 \text{ CoAf}^2$$

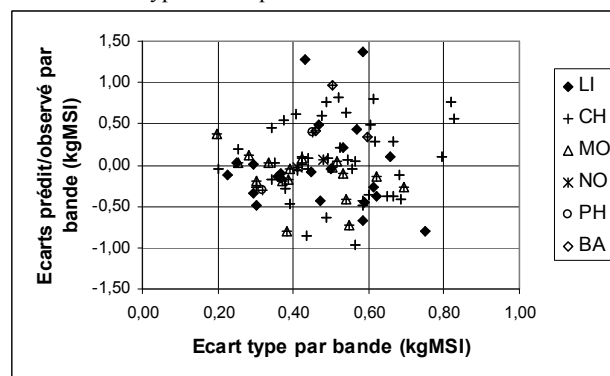
où Ami, CBf et CoAf sont exprimés en kg par kg de MS, et RB = -0,378 pour CHarolais, -0,410 pour LImousin, -0,397 pour Blond d'Aquitaine, -0,365 pour MOntréalard, -0,389 pour NOrmand et -0,324 pour Prim'Holstein.

L'équation 2, calée sur la moitié des bandes (N° pairs dans la base, $R^2 = 0,52$), explique 39 % des variations de EB sur les données indépendantes des bandes à n° impairs. Nous pouvons voir sur la figure 3 que la plupart des erreurs de prédiction des EB conduisent à des écarts de prédiction de l'ingestion inférieurs à un kg de MS. Ces écarts par bande (observé - prédit) sont du même ordre de grandeur que l'écart-type observé intra bande (dispersion des huit à dix écarts correspondant aux périodes successives de mesure). Les critères disponibles pour décrire la ration (composition chimique...) ne permettent pas d'affiner la prédiction, mais ces résultats donnent une idée de la valeur possible de termes correctifs que l'on pourrait introduire dans un simulateur (par exemple pour prendre en compte l'état d'engraissement initial des animaux ou un effet plus lié à leur origines génétiques).

Le modèle statistique sous sa forme complète est le suivant : $MSI = 10^{(RB - 0,225 \text{ Ami}^2 - 0,555 \text{ CBf} + 0,208 \text{ CoAf} - 0,175 \text{ CoAf}^2)} \times PV^{0,5}$

Il est cohérent dans sa forme avec le calcul réalisé en UEB dans INRation ($MSI = CI / UEB_{ration}$) où la capacité d'ingestion CI est exprimée en UEB. L'effet de la race module la CI (Garcia *et al.*, 2007). La composition chimique de la ration qui est ici exprimée dans l'équation rend compte directement de l'encombrement de la ration (UEBr). Son application sur les données impaires permet d'expliquer 69 % de la variabilité de l'ingestion.

Figure 3 : précision de la prédiction de MSI : écart moyen par bande et écart type de chaque bande.



2.1.3. Correctif pour la phase de transition

Lors de la phase de transition les JB ne reçoivent pas à volonté les aliments les plus énergétiques ; un module particulier permet d'apporter un correctif lors de cette période. Ce terme correctif a une valeur maximale le premier jour de l'engraissement (TR) et diminue ensuite de façon exponentielle ; sa valeur est quasiment nulle au bout de trente jours. Dans l'équation 3, où le temps t est exprimé en jours, la valeur de TR qui correspond en moyenne aux données de la base est de 1,5 kg de MS.

Equation 3 :

$$Corr = -TR \times 10^{-0,06t}$$

2.2. PARAMETRAGE DU MODELE DE CROISSANCE : MECSIC

L'énergie métabolisable ingérée (EMI), donnée d'entrée de MECSIC, est calculée à partir des MSI disponibles dans la base, et des compositions chimiques de chaque matière première selon Baumont *et al.* (2007).

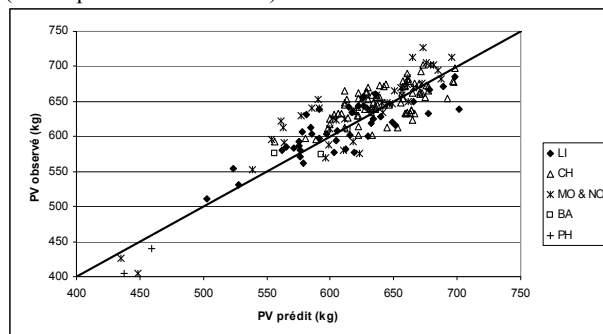
Certains paramètres de MECSIC, pour des JB de type tardif, (Hoch et Agabriel 2004) ont été fixés en s'appuyant sur les données d'abattages sériés d'animaux charolais des années 1980 (croissance continue de 989 g / jour). Dans la base actuelle, le gain moyen quotidien (GMQ) des JB charolais pendant la phase expérimentale est de 1622 g / j. Pour l'application du modèle MECSIC aux données, nous avons ajusté les paramètres influençant le format des animaux (Protmax), qui traduit ce gain de productivité des JB. Le tableau 2 montre les résultats de ces ajustements.

Tableau 2 : paramétrage de Mecsic (coefficients Protmax) et modifications proposées.

Races	LI & BA	CH	MO, NO & PH
PV maturité initial	975	1050	950
Protmax initial	110	110	80
Protncmax initial	50	50	40
PV maturité proposé	1150	1250	950
Protmax proposé	131	134	80
Protncmax proposé	57	62	40

Avec ces nouveaux paramètres, MECSIC explique 73 % des variations des PV observés en fin de période expérimentale (figure 4).

Figure 4 : comparaison de PV fin essai observé et prédit (trait = première bissectrice)



2.3. CONSTRUCTION D'UN SIMULATEUR

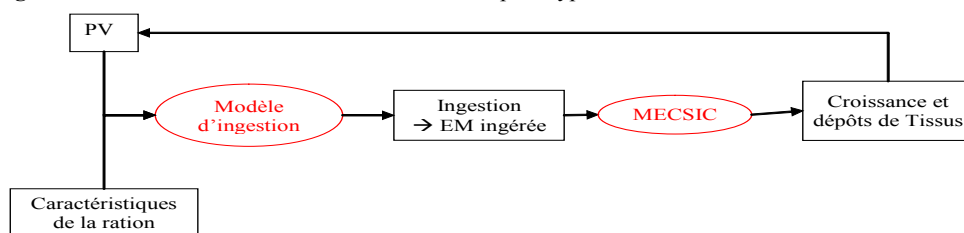
Le modèle d'ingestion décrit plus haut et le modèle de croissance MECSIC, utilisant les paramètres ajustés sur les données de la base, ont été associés dans un prototype de simulateur interactif fonctionnant par itérations à l'échelle quotidienne : la croissance prédite par MECSIC fournit le poids vif qui sert de donnée d'entrée au calcul d'ingestion. L'ingestion comporte une part fixe (aliment rationné) et une part variable, qui font évoluer l'énergie métabolisable disponible. Ce fonctionnement est illustré sur la figure 5. Le prototype est créé sous Excel pour mettre en œuvre ce simulateur. La macro-commande MECSIC fournit chaque jour tous les paramètres décrivant l'évolution des quantités de lipides et de protéines dans la carcasse et dans le cinquième quartier. On en déduit l'évolution du poids de carcasse et du poids vif qui servira pour le jour d'après.

3. DISCUSSION

La valeur du coefficient affecté au PV est de 0,5. Nous trouvons, pour ces animaux à l'engraissement, une valeur proche de la valeur 0,6 publiée par l'INRA en 2007 (Garcia *et al.*, 2007) ou de celle de 0,75 souvent utilisée pour la prédiction de l'ingestion (Ingvarsten, 1994). Cela traduit un engraissement accéléré des taurillons. Dans un prototype plus évolué (sous INRATION) comme proposé par Hoch *et al.* (2005), l'état d'engraissement simulé devra directement déterminer le niveau d'ingestion journalier pour créer ainsi une régulation plus mécaniste.

Le modèle établi ici ne prend pas en compte les différences possibles de potentiel génétique des JB : un simulateur pourrait introduire un tel paramétrage qui modulerait à la fois la CI et le potentiel de croissance; les écarts observés sur la figure 3 en suggèrent l'ampleur maximale. La prise en compte de la transition pourrait aussi être améliorée pour tenir compte des différences entre des situations où elle doit être assez longue (changement complet d'alimentation) et d'autres où elle peut être plus limitée.

Figure 5 : schéma de fonctionnement du simulateur prototype.



Les paramètres Protmax du modèle MECSIC ne sont pas les seuls coefficients permettant de faire varier la prédiction de croissance. On pourrait aussi agir sur les coefficients du modèle qui contrôlent la vitesse de dépôt des tissus. Compte tenu de leur sensibilité, cela n'a pas été retenu. Cependant, l'examen des données publiées (Garcia *et al.*, 2008) suggère de tester cette voie. La bande de JB charolais qui a servi à fixer initialement ces coefficients (données 1980) a reçu une ration dont la densité énergétique en EMI est de 13,5 MJ / kg MS ; la croissance a été inférieure à 1kg de PV par jour. Dans la base de données ARVALIS, la densité énergétique est plus faible (11,5 MJ / kg MS pour les charolais) et les performances supérieures (plus de 1,5 kg de PV par jour). Outre l'amélioration des fonctionnalités du prototype, il reste à mieux prendre en compte le passage entre la MSI (c'est-à-dire l'énergie brute ingérée) et l'EMI. En effet, dans certaines circonstances, une partie de l'énergie potentiellement métabolisable doit être perdue lors de la digestion. D'un autre côté, la transformation des données de composition de la carcasse en critères commerciaux (état d'engraissement...) et en poids vif doit être améliorée.

CONCLUSION

Le prototype de simulateur qui a été construit lors de ce travail valorise 1) des résultats d'essais accumulés depuis vingt ans et 2) un travail de modélisation mécaniste initié il y a une dizaine d'années. Il permet de transformer des données connues à l'entrée en atelier d'engraissement (race, poids initial, composition de la ration) en performances moyennes de l'atelier au jour le jour. Selon les besoins des utilisateurs, ces résultats de calcul peuvent être présentés de différentes manières : durée d'engraissement pour un objectif de poids de carcasse, besoin en fourrages ou en concentrés.

Un travail complémentaire est nécessaire pour compléter les références et surtout pour faire évoluer le prototype vers un outil utilisable pour aider dans leurs réflexions et dans leurs conseils les techniciens spécialisés dans la viande bovine.

La mise au point d'un tel outil n'annule pas l'intérêt de continuer à acquérir des références expérimentales. Elles demeurent nécessaires pour tester des produits nouveaux entrant dans la composition des rations, et pour valider et affiner les paramètres des modèles.

Garcia F., Agabriel J., Micol D., 2007. In Alimentation des bovins, ovins et caprins. QUAE éditions. 89-120.

Garcia F., Sainz R.D., Agabriel J., Barioni L.G., Oltjen J.W., 2008. *Animal feed sci. & techn.*, 143, 1-4, 220-241.

Hoch T., Agabriel J., 2004. *Agric. systems*, 81, 1-15

Hoch T., Pradel P., Champciaux P., Agabriel J. 2005. In: *J. Djiktra, J. France (Editors), Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals. CAB International, Wallingford (GBR).*

Ingvarsten K., 1994. *Livestock Prod. Sci.* 39,19-38.