

# Revision des recommandations alimentaires pour les vaches de réforme à l'engrais. Développement d'un nouveau modèle prédictif

F. GARCIA et J. AGABRIEL

INRA, Unité de Recherches sur les Herbivores, Theix - 63122 Saint-Genès Champanelle

**RESUME** - Pour actualiser les recommandations alimentaires des vaches de réforme à l'engrais, il est apparu nécessaire de construire un nouveau modèle qui permette de réaliser une estimation correcte des besoins de ces animaux. Pour cela, le modèle vache de réforme (VDR) a pour objectif de prédire la composition du gain de poids vif des vaches de réforme au cours de leur engraissement (lipides et protéines) pour la traduire ensuite en besoin nutritionnel (Besoin entretien et énergie du gain =  $9,39 \times \text{LIP} + 5,48 \times \text{PROT}$ ). C'est un modèle empirique qui allie expertise et ajustement d'équations à partir de données expérimentales issues des domaines de l'INRA.

VDR considère séparément deux phases : la croissance de la vache au cours de sa carrière au sein de l'élevage et le gain de poids réalisé pendant la phase d'engraissement. Ainsi la première partie du modèle fonctionne à l'échelle de l'année, tandis que la deuxième partie, pour l'engraissement, prend en compte l'échelle de la journée. Le poids vif et le gain de poids vif sont estimés pour chacune des deux phases, grâce à des équations de croissance classiques. La composition corporelle des animaux est ensuite estimée grâce à des relations d'allométrie entre contenu digestif et poids vif d'une part, entre lipides et poids vif vide d'autre part. Une première validation du modèle pour les vaches de race Charolaise à partir de données sur 31 lots expérimentaux a montré que VDR estime correctement les besoins des animaux. Les nouvelles recommandations alimentaires obtenues tiennent compte de la race, du poids vif, du gain quotidien de poids vif, du format et de l'état d'engraissement de l'animal.

## Update of feeding requirements for fattened cull cows – development of a new predictive model

F. GARCIA et J. AGABRIEL

INRA, Unité de Recherches sur les Herbivores, Theix, 63 122 Saint-Genès Champanelle

**SUMMARY** - To update feeding requirements for fattening cull cows, it was necessary to develop a new model that estimates reliable feeding requirements. The cull cow model (VDR) is aimed at predicting the composition in lipids and protein of the daily live weight gain for cull cows during fattening (protein and lipids) to convert this into nutritional requirement (maintenance requirements and energy in gain =  $9.39 \times \text{LIP} + 5.48 \times \text{PROT}$ ). This is an empirical model associating expertise and fitting of equations with data from experimental farms of INRA.

VDR considers separately two periods: growth of the cow at the farm and weight gain during the finishing period. First part of the model works at the annual temporal scale whereas the fattening part of the model considers the daily scale. The theoretical live weight and live weight gain were calculated for each of the two periods, with growth equations. Body composition was calculated with allometric equations between i) rumen content and live weight and between ii) body lipids and empty body weight. A first validation of the model performed on Charolais cows using data from 31 experimental groups shows that the model correctly estimates feeding requirements of the animals. New feeding requirements obtained take into account the breed, the live weight, the daily live weight gain, the frame size and the body condition score of the animal.

## INTRODUCTION

La viande bovine de vaches de réforme issues des troupeaux laitiers ou des troupeaux allaitants représente un tiers de la consommation de viande bovine en Europe (Cabaraux *et al.*, 2005). La production de vaches de réforme engraisées est réalisée à partir d'animaux qui présentent une grande variabilité quant à leur race, leur état avant engraissement, leur âge ou encore leur cause de réforme.

En 1988, l'INRA a proposé un tableau de recommandations alimentaires pour les vaches de réforme à l'engrais, dans lequel les besoins sont fonction du poids vif et du gain de poids vif réalisé par les animaux. Ces recommandations construites sur la base d'observations expérimentales (méthode globale) sont incomplètes. Elles ne permettent pas de prendre en compte l'état d'engraissement ou encore l'âge des animaux.

Dans le cadre de la réactualisation des recommandations alimentaires des animaux en croissance et à l'engrais, nous avons développé un nouveau modèle plus analytique de prédiction des besoins de la vache de réforme à l'engrais.

## 1. UN MODELE DE PREDICTION DU GAIN ET DE LA COMPOSITION DU GAIN DE POIDS

Nous avons adopté la démarche utilisée par Robelin et Daenicke (1980) pour développer le modèle qui a servi à l'estimation des besoins énergétiques et azotés des bovins en croissance et à l'engrais en 1988 et pour sa réactualisation en 2006.

On considère globalement que les besoins d'un animal correspondent à la somme des besoins liés à l'entretien (métabolisme digestif, renouvellement cellulaire, homéothermie, ...) et des besoins liés à la croissance. Le besoin d'entretien est simplement considéré proportionnel au poids métabolique (Vermorel *et al.*, 1987) :

$$\text{Entretien (UFV)} = \alpha \times PV^{0,75} \quad (1)$$

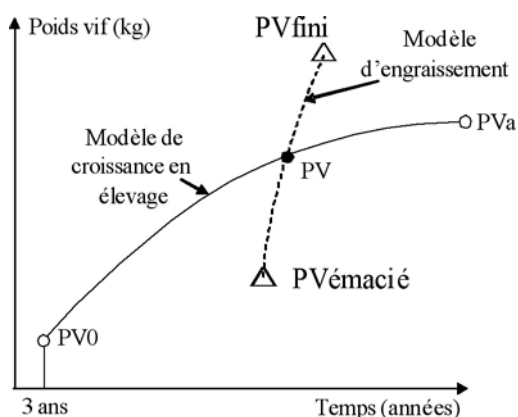
Les besoins liés à la croissance correspondent à l'énergie déposée dans le gain de poids sous forme de protéines, de lipides et d'eau. Ainsi, ce besoin, exprimé en UFV, est calculé selon l'équation suivante :

$$\text{Croissance (UFV)} = \frac{(9,39 \times \text{GLip} + 5,48 \times \text{GProt}) \times \text{Kmg}}{\text{Kg} \times 1,82} \quad (2)$$

GLip et GProt sont respectivement les gains de lipides et de protéines, 9,39 et 5,48 sont respectivement les contenus énergétiques d'un kilogramme de lipides et de protéines. Kg et Kmg sont les rendements d'utilisation de l'énergie métabolisable (EM) dans le système des UFV (Vermorel *et al.*, 1987), rapportés à l'énergie nette du kilogramme d'orge de référence (1,82). Il en résulte que les besoins liés à la croissance peuvent être estimés dès lors que l'on connaît le gain et sa composition chimique. La composition chimique du gain dépend de l'animal et de sa nutrition c'est-à-dire de sa race, de son âge, de sa vitesse de croissance et de son état corporel. Notre objectif est donc de modéliser le gain de poids d'une vache considérée en fonction de ces 4 facteurs. Pour cela, en tenant compte de la grande variabilité des animaux lors de leur réforme, nous avons associé un modèle de croissance de la vache en élevage (3 à 8 ans d'âge) à un modèle d'engraissement pendant la finition (figure 1).

**Figure 1** : schéma d'ensemble du modèle VDR.

La composition corporelle est estimée aux points ○ pendant la croissance et aux points △ pendant l'engraissement pour calculer les relations d'allométrie. Le point ● correspond au point charnière qui permet de faire le lien entre les modèles de croissance et d'engraissement.



## 1.1. LE MODELE DE CROISSANCE EN ELEVAGE

### 1.1.1. Poids vif

Le modèle de croissance en élevage (figure 1) estime le poids vif théorique (PV) d'une vache au cours de sa carrière en fonction de son poids initial à 3 ans et de son âge, selon une équation de Gompertz de la forme :

$$PV = PV_0 \times \exp(b \times (1 - \exp(-a \times (\text{Age} - 3)))) \quad (3)$$

$PV_0$  est le poids initial à 3 ans, Age est l'âge de l'animal en années et  $a$  et  $b$  sont des paramètres ajustés pour chaque type d'animal. Le poids vif théorique à l'âge adulte, PVa est égal à  $PV_0 \times \exp(b)$ .

Le poids vif d'un animal dépend de son format et de son état d'engraissement. Nous avons donc mis en place une correction du modèle (3) par le format.

A l'aide des données expérimentales disponibles, nous avons ajusté des équations de la forme :

$$PV = PV_{moy} + h \times (HG - HG_{moy}) + n \times (NEC - NEC_{moy}) \quad (4)$$

PV est le poids vif calculé pour l'animal théorique.  $PV_{moy}$ ,  $HG_{moy}$  et  $NEC_{moy}$  sont les valeurs moyennes de poids vif, de hauteur au garrot (en cm) et de note d'état, respectivement, calculées à partir des jeux de données utilisés pour ajuster les paramètres  $h$  et  $n$  de l'équation.

Nous avons ensuite utilisé l'écart-type autour de  $HG_{moy}$  pour définir les formats par des hauteurs au garrot de

$HG_{moy}$  plus deux écarts-types (grand format),  $HG_{moy}$  (format moyen),  $HG_{moy}$  moins deux écarts-types (petit format) et moins 4 écarts-types (très petit format). Le poids vif à maturité (PVa) correspondant est modifié selon le facteur  $h$ .  $PV_0$  est recalculé pour chacun des 4 formats définis.

Les notes d'état dans le modèle de croissance ont été fixées entre 2,2 et 2,4 pour les races à viande et entre 1,6 et 1,8 pour les races laitières.

### 1.1.2. Poids vif vide (PVV) et lipides (LIP)

La connaissance de la composition corporelle (contenu digestif et lipides corporels) en deux points (initial à 3 ans et adulte) permet d'ajuster les relations d'allométrie selon le principe du modèle de Robelin et Daenicke (1980). On estime ainsi les coefficients  $c_0$ ,  $c_1$ ,  $b_0$  et  $b_1$  des équations 5 et 6 :

$$CD = c_0 \times PV^{c_1} \quad (5)$$

$$LIP = b_0 \times PVV^{b_1} \quad (6)$$

CD (kg) est le contenu digestif et LIP est la quantité de lipides corporels (kg). Ces coefficients permettent ensuite d'estimer PVV et LIP en tout point de la courbe de la figure 1. Les protéines (PROT) sont ensuite considérées comme une constante de la masse délipidée (PVV-LIP).

### 1.1.3. Le squelette

La connaissance du squelette de la carcasse (OSCA), critère descriptif du format, permet de faire le lien entre ce modèle de composition du gain en phase d'élevage et celui en phase d'engraissement, en finissant de décrire le point intermédiaire entre les deux modèles. Nous avons ajusté une équation de la forme :

$$PVV = PVV_{moy} + d \times (DAT - DAT_{moy}) + o \times (OSCA - OSCA_{moy}) \quad (7)$$

$PVV_{moy}$ ,  $DAT_{moy}$  et  $OSCA_{moy}$  sont les valeurs moyennes de poids vif vide, dépôts adipeux totaux et squelette de la carcasse, respectivement, calculées à partir des jeux de données utilisés pour ajuster les paramètres  $d$  et  $o$  de l'équation.

## 1.2. LE MODELE D'ENGRASSEMENT EN PHASE DE FINITION

Pendant la phase d'engraissement, nous avons estimé le poids vif selon une équation de la forme :

$$PV_{eng} = PV_{émacié} + Gain_{max} \times (1 - \exp(-r \times \text{duree})) \quad (8)$$

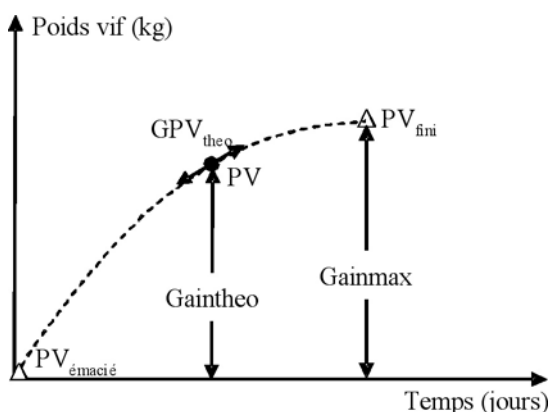
Le gain de poids vif théorique ( $GPV_{eng}$ ) est obtenu en dérivant cette équation :

$$GPV_{eng} = r \times (Gain_{max} - Gain_{theo}) \quad (9)$$

$Gain_{max}$  (kg) est le gain maximal réalisé à la fin de l'engraissement,  $Gain_{theo}$  (kg) est la reprise de poids réalisée depuis le début de l'engraissement et  $duree$  est la durée d'engraissement (j).

Pour calculer PVV et LIP en engraissement, les relations d'allométrie (5 et 6) ont été utilisées avec des coefficients différents en considérant la composition corporelle quand la vache est 1/ émaciée, 2/ en élevage (modèle de croissance) et 3/ en fin d'engraissement (fini). On fait l'hypothèse que 1/ le squelette de la carcasse est celui estimé par le modèle de croissance et n'évolue pas au cours de l'engraissement et 2/ que l'état initial émacié est caractérisé par une note d'état de 1,5 (race à viande) à 1 (race laitière) définie par expertise et validée avec les données disponibles (expériences d'engraissement, cf. 2.).

**Figure 2** : schéma d'ensemble du modèle d'engraissement.  
Voir légende de la figure 1.



### 1.3. APPLICATION A UNE VACHE DONNEE

L'animal observé est défini par sa note d'état ( $NEC_{obs}$ ), son poids vif ( $PV_{obs}$ ) et son gain de poids vif objectif ( $GPV_{obs}$ ). Il est rapporté à l'animal théorique de mêmes race, âge, format et état dont le gain de poids et de lipides sont connus. L'animal observé ne sera différent que par le gain de lipides en engraissement, calculé par allométrie (équation 10). Le gain de protéines observé ( $Prot_{obs}$ ) est déduit de la différence entre  $GPV_{obs}$  et  $GLip_{obs}$ .

$$GLip_{obs} = GLip_{eng} \times \frac{GPV_{obs}}{GPV_{eng}} \quad (10)$$

L'équation 10 est dérivée de celle du modèle de Robelin et Daenicke (1980). Dans ce modèle, le ratio  $GPV_{obs}/GPV_{eng}$  est élevé à la puissance 1,8 pour exprimer le fait que le gain de lipides augmente plus vite que le gain de poids vif. Dans notre cas, nous avons retenu un exposant 1 car la proportion de lipides dans le gain est déjà supérieure à 50 % et ne peut dépasser 100 % !

## 2. PARAMETRAGE DU MODELE

Nous avons paramétré le modèle 1/ par ajustement pour les équations 3, 4, 7, 8 et 9 et 2/ par expertise avec les données disponibles (Dumont *et al.*, 1991, 1997 ; Roux *et al.*, 1993) pour le contenu digestif et les pourcentages de lipides (équations 5 et 6). Nous avons paramétré le modèle pour des vaches de races Charolaise, Limousine et Prim'Holstein (tableau 1).

**Tableau 1** : équations ajustées pour le modèle de croissance chez les vaches de réforme de race Charolaise (CH), Limousine (LI) et Holstein (HO).

N est le nombre d'observations utilisées pour ajuster chaque équation et N° est le numéro de l'équation dans le texte.

Race	N°	N	Equation ajustée
CH	3	11072	$PV=675*\exp(0,20*(1-\exp(-0,32*(Age-3))))$
CH	4	108	$PV=760+10*(HG-133)+54,7*(NEC-2,5)$
CH	7	127	$PVV=585+1,9*(DAT-91)+5,8*(OSCA-60)$
CH	9	143	$GPV_{eng}=0,00779*(187-Gaintheo)$
LI	3	4780	$PV=568*\exp(0,18*(1-\exp(-0,56*(Age-3))))$
LI	7	111	$PVV=530+1,3*(DAT-77)+3,1*(OSCA-50)$
HO	3	2470	$PV=588*\exp(0,14*(1-\exp(-0,45*(Age-3))))$
HO	4	82	$PV=575+11,1*(HG-141)+13,8*(NEC-1,6)$
HO	7	168	$PVV=537+1,3*(DAT-94)+4*(OSCA-55)$
HO	9	38	$GPV_{eng}=0,0125*(146-Gaintheo)$

Les données de poids vif et de hauteur au garrot de vaches des domaines expérimentaux de Laqueuille, de Theix, d'Orcival et de Marcenat ont permis d'ajuster les équations 3 et 4. L'équation 4 ajustée pour les vaches Charolaises et

pour les vaches Holsteins a permis de définir les 4 types de formats pour l'ensemble des vaches de race allaitante et de race laitière, respectivement.

Les données d'abattage de l'abattoir expérimental de Theix ont permis d'ajuster l'équation 7.

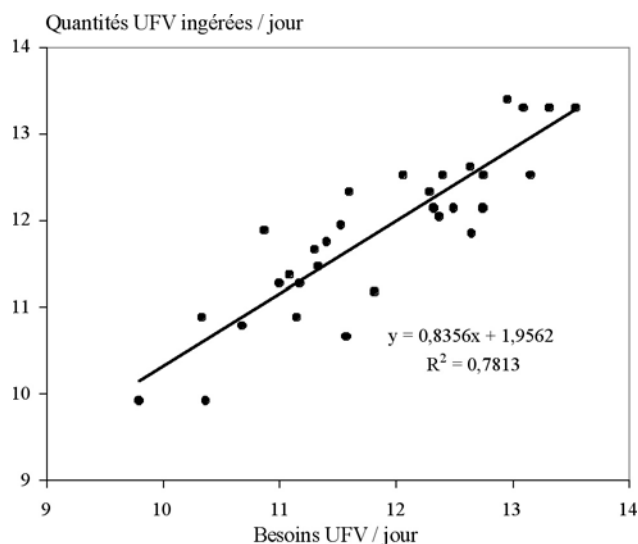
Pour ajuster l'équation 9 nous avons utilisé des données de cinétiques de gain 1/ sur vaches Charolaises dans 5 expérimentations où les vaches avaient été au préalable amaigrées (Dumont *et al.*, 1991 ; Roux *et al.*, 1993, par exemple) et 2/ sur vaches Holsteins dans 2 expérimentations (De La Torre *et al.*, 2006).

Dans la pratique on considèrera qu'une vache de race allaitante sera qualitativement de format très petit, petit, moyen ou grand selon que sa hauteur au garrot sera comprise entre 110 et 120 cm, 120 et 130 cm, 130 et 140 cm ou 140 et 150 cm, respectivement. De la même façon, pour une vache de race laitière, des hauteurs au garrot comprises entre 115 et 125 cm, 125 et 135 cm, 135 et 145 cm et entre 145 et 155 cm correspondront aux formats très petit, petit, moyen et grand, respectivement.

## 3. VALIDATION DU MODELE VACHE CHAROLAISE

Nous avons réalisé une première validation du modèle chez des vaches de race Charolaise entre 3 et 8 ans d'âge. Pour cela nous avons constitué un jeu de données rassemblant les valeurs moyennes des variables suivantes pour 31 lots mis en expérience d'engraissement : quantités d'UFV ingérées par jour, poids vif, gain de poids vif, note d'état corporel, âge. Nous avons comparé les besoins UFV prédits par le modèle aux quantités d'UFV ingérées (figure 4).

**Figure 4** : comparaison entre les quantités d'UFV ingérées par jour et les besoins UFV prédits par le modèle.



Le besoin d'entretien a été utilisé comme variable d'ajustement pour minimiser la somme des carrés des écarts entre besoins prédits et apports UFV. Nous avons ainsi trouvé une valeur de 103 kcal EM/kgPV<sup>0,75</sup>, cohérente avec les valeurs retenues pour les autres catégories d'animaux dans le modèle de Robelin et Daenicke (1980).

Nous n'avons pas observé de tendance dans la distribution des résidus entre valeurs prédites et valeurs observées en fonction des variables d'état âge, format, poids vif, gain de poids vif et note d'état corporel. Ce résultat suggère que le modèle n'induit pas de biais dans l'estimation des besoins des animaux.

#### 4. DISCUSSION - CONCLUSION

Le modèle vache de réforme a été développé pour proposer des recommandations alimentaires pour les vaches de réforme à l'engrais, qui tiennent compte de l'âge, du format, du poids vif, du gain de poids vif attendu, de la race et de la note d'état de l'animal. Conformément au modèle développé pour les bovins en croissance et à l'engrais, il permet d'estimer la composition du gain de poids défini comme objectif par l'éleveur et donc d'en déduire les besoins pour la croissance. Il existe à notre connaissance un seul autre modèle dans la littérature permettant de prédire le gain de poids et sa composition chez des vaches de réforme (Williams et Jenkins, 2003).

L'originalité du modèle VDR réside aussi dans les constatations suivantes :

- Les besoins alimentaires sont estimés grâce au couplage de deux modèles, le premier associé à la phase de croissance en élevage et le deuxième associé à la phase d'engraissement. Le modèle combine donc deux échelles de temps différentes, l'année pour la carrière de la vache et la journée pour son engraissement.

- Ce modèle répond à une approche pragmatique, associant ajustement d'équations et expertise pour arriver facilement et rapidement à des recommandations.

Les résultats de validation mettent en évidence la capacité du modèle à établir des estimations des besoins alimentaires correctes pour des vaches de race Charolaise, sans biais associé à l'âge, au format, au gain de poids vif ou encore à la note d'état. Les données sur vaches de réforme de race Limousine ou de race Holstein sont rares et ne nous ont donc pas encore permis d'entreprendre la validation du modèle pour ces animaux. Les estimations réalisées avec ce modèle constituent une amélioration par rapport aux recommandations alimentaires de 1988 (Geay *et al.*, 1988) qui tenaient compte du poids vif et du gain de poids vif de l'animal, mais sans considération de son état d'engraissement ou de son format. Ainsi, pour les 31 lots

expérimentaux de vaches charolaises, VDR explique 75 % de la variabilité des besoins UF contre 48 % pour les recommandations précédentes. Sur ce jeu de données, VDR prédit également en moyenne des besoins supérieurs de 1 UFV par rapport à 1988.

Ce travail a également montré que les données expérimentales sur l'engraissement des vaches de réforme sont peu nombreuses dans nos bases de données. Elles sont également rares dans la littérature, du fait de la spécificité française de l'élevage des races pures et de la consommation de viande bovine issue de vaches de réforme. Le modèle présenté nécessite pourtant une validation des estimations pour les vaches de race Limousine et les vaches de race Holstein. Il serait également souhaitable de pouvoir étendre et tester le modèle pour d'autres races, en particulier pour les races rustiques.

*Les auteurs remercient Hervé Dubroeuq pour la constitution de la base de données de validation du modèle, et Anne Listrat pour les données sur vaches Holstein.*

**Cabaraux J-F., Dufrasne I., Roux M., Istasse L. et Hornick J-L., 2005.** INRA Prod. Anim. 18(1), 37-48  
**De La Torre A., Gruffat D., Durand D., Micol D., Peyron A., Scislowski V. et Bauchart D., 2006.** *Meat Science*, 73, 258-268  
**Dumont R., Roux M., Touraille C., Agabriel J. et Micol D., 1997.** INRA Prod. Anim 10(2), 163-174  
**Dumont R., Roux M., Agabriel J., Touraille C., Bonnemaire J., Malterre C., et Robelin J., 1991.** INRA Prod. Anim 4(4), 271-286  
**Geay Y. et Micol D., 1988.** Alimentation des bovins, ovins, caprins, pp 213-248  
**Robelin J. et Daenicke R., 1980.** Ann. Zoot. (29), 99-118  
**Roux M., Dumont R., Agabriel J., Bonnemaire J. et Micol D. 1993.** INRA Prod. Anim. 6(3), 237-248  
**Vermorel M., Coulon J.B. et Journet M., 1987.** Bulletin Techn. CRZV Theix, 70, 9-18  
**Williams C.B. et Jenkins T.G., 2003.** JAS. 81(6), 1382-1389

**Figure 3 :** modèle VDR du gain de poids et de la composition du gain d'une vache de réforme à l'engraissement.

L'encart "Elevage" concerne le modèle de croissance pendant la carrière de l'animal théorique, l'encart "Engraissement" sa période de finition. L'encart "Animal observé" décrit l'application du modèle pour une vache donnée. Les flèches en double trait représentent les relations d'allométrie. Les variables en italique sont en kg/j et les variables en capitales en kg. Les variables non encadrées constituent les 5 entrées du modèle (format, âge, poids vif PV<sub>obs</sub>, gain de poids attendu GPV<sub>obs</sub> et note d'état NEC<sub>obs</sub>).

