

# Extension spatio-temporelle du modèle chèvre INRA 2018 à l'alimentation par lot et au cours du cycle de production.

SAUVANT D. (1), BLUET B. (2)

(1) UMR INRA-AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 75005 Paris, France

(2) Chambre d'Agriculture de l'Indre, 24 rue des Ingrains 36022 Châteauroux Cedex, France

## RESUME

Le modèle INRA 2018 de calcul des besoins et des réponses des caprins à l'alimentation concerne un animal moyen considéré pendant une période de temps limitée. Compte tenu des besoins des éleveurs il est nécessaire de pouvoir prendre en compte (1) la réponse d'un lot d'individus en intégrant les pratiques de gestion alimentaire des lots (choix d'un animal cible...) (2) l'évolution de l'état des réserves énergétiques et la note d'état corporel sur un cycle productif. Des modèles appuyés sur les relations INRA 2018 sont proposés pour atteindre ces objectifs.

## Spatio-temporal extension of the INRA 2018 goat model to group feeding and during the production cycle.

### SUMMARY

The INRA 2018 model for calculating the requirements and responses of goats to feed intake concerns an average animal considered for a limited period of time. Given the needs of farmers, it is necessary to be able to take into account (1) the response of a group of individuals by integrating group feeding management practices (choice of a target animal, etc.) (2) the evolution of the status of energy reserves and the body condition score along one productive cycle. Models based on INRA 2018 relationships are combined to achieve these objectives.

### INTRODUCTION

Le nouveau modèle INRA 2018 du calcul des besoins alimentaires et des réponses des ruminants à l'alimentation comprend le chapitre n°21 consacré aux caprins (Sauvant et Giger-Reverdin, 2018). Dans ce chapitre toutes les bases des calculs des besoins ont été revisitées et des lois de réponses aux régimes et pratiques alimentaires ont été proposées. Cependant ces approches ne concernent qu'un individu moyen alors que la stratégie alimentaire des caprins s'applique au niveau des lots d'animaux gérés. En outre, différents modèles d'évolutions dans le temps des principaux critères liés à la croissance, à la lactation et à la gestation ont été proposés dans cette référence; par contre, ils n'ont pas été intégrés au sein d'un modèle global cohérent. Le but de travail est donc de se rapprocher des pratiques des éleveurs en réalisant un élargissement spatio-temporel des recommandations caprines INRA 2018 en modélisant, d'une part, la problématique alimentaire du lot et, d'autre part, les phénomènes dynamiques sur un cycle de production.

### 1. MATERIEL ET METHODES

**Les lots:** Un lot (alimentaire) représente un groupe d'animaux qui se voit proposé la même ration en qualité. En élevage il est décrit avec deux types de données. D'une part, les estimations des potentiels moyens du lot à l'échelle de la lactation (production laitière potentielle à 300j TB potentiel lactation, TP potentiel lactation), dont on peut déduire les productions potentielles brutes (PLBpot) et standard (PLSpot) au stade considéré. D'autre part, les productions « observées » moyennes du lot au stade de la ration étudiée et la dispersion des individus autour de cette moyenne, appréciée par l'écart-type d'une distribution gaussienne ou bien par un ensemble de données mesurées réparties selon un autre type de distribution.

En outre, pour la conduite des calculs de la ration, conformément au logiciel Capalim (FCEL), on distingue, en plus de la production du lot, 3 animaux repères: la chèvre moyenne, la chèvre-cible et la chèvre faible productrice

correspondant au premier décile des productions (Idele/Technipiel, 2011). Seule la chèvre cible est alimentée à son potentiel de production, les autres chèvres, ou sous-groupes homogènes de 2 à 5 chèvres, sont dans une situation de réponses car elles sont soit sur-alimentées (si potentiel < cible) soit sous-alimentées (si potentiel > cible). Cet animal cible est défini de manière à ce qu'une proportion voulue des animaux ait ses besoins énergétiques de couverts (0.85 par exemple). Les autres chèvres reçoivent la même quantité d'aliment concentré que la chèvre cible et leur ingestion de fourrage dépend de leur capacité d'ingestion et de la substitution concentré x fourrage.

**Dynamique du cycle de production:** La dynamique des réserves d'une chèvre au cours du cycle productif dépend d'abord de son potentiel de production (lait et prolificité). Ces évolutions sont interprétées en termes de réserves mobilisées, ou accumulés, puis elles sont intégrées pour aboutir à la modélisation des dynamiques du poids vif vide (PVV), puis du poids vif (PV) en tenant compte de l'évolution des contenus digestifs, et de la note d'état corporel (NEC) mesurée au niveau sternal ou lombaire. Pour mener à bien ce travail, il a été nécessaire (1) de reconsidérer la question de la partition de l'énergie entre l'organisme maternel et l'utérus gravide (2) d'intégrer la notion de PV format (PVf), le PV minimal au cours du cycle, ce critère est utilisé sur le terrain. Dans les résultats les équations référencées correspondent à celles du chapitre caprin (Sauvant et Giger-Reverdin, 2018).

### 2. RESULTATS

#### 2.1. MODELES DE REPONSES DES LOTS

##### 2.1.1. Construction des réponses du lot à partir des potentiels

La démarche se déroule en 4 étapes:

(1) on fixe la proportion des individus dont on cherche à couvrir les besoins UFL pour en déduire la production de l'animal cible (cf partie 2.1.3).

(2) On calcule la ration qui couvre les besoins UFL de la cible (en tenant compte de la dynamique des réserves), la quantité de concentré ainsi calculée pour la cible est également apportée aux autres chèvres.  
 (3) on calcule, pour chaque chèvre, autre que la cible, les réponses adaptatives de l'ingestion de fourrage, des productions de lait, de matières grasses et protéiques et des TB. Ces réponses individuelles sont celles des équations 21.51 et 21.52 ainsi que du tableau 21.9 (Sauvant & Giger-Reverdin, 2018).  
 (4) On en déduit les réponses du lot en sommant les réponses des individus à l'aide des équations INRA 2018.

Ces différentes étapes nécessitent de prédire à partir des données connues sur le lot (données potentielles moyennes et données observées individuelles) un certain nombre de paramètres : dispersion des productions potentielles, niveau de production potentiel de l'animal cible et productions potentielles de chaque individu.

### 2.1.2. De la dispersion des productions observées à la dispersion des productions potentielles.

Si l'estimation du potentiel moyen d'un lot peut être aisément envisagée en pratique, il est plus difficile de prédire a priori la dispersion des potentiels des individus du lot autour de cette moyenne (ETplspot). Cependant ce paramètre peut être estimé à partir de l'écart type des productions standards observées (ETplsobs) grâce à un coefficient de réduction de l'écart type (REDet):

$$ETplspot = ETplsobs / REDet \quad [1]$$

sachant que REDet peut être estimé avec une précision satisfaisante à partir de CODPOT(=PLBpot-4), et la qualité du fourrage estimée par son encombrement (CODUEF=UEF-1.05)

$$REDet = 0,80633 - 0,01817 \text{ CODPOT} - 0,06921 \text{ CODUEF} + 0,02246 \text{ CODUEF}^2 \quad [2]$$

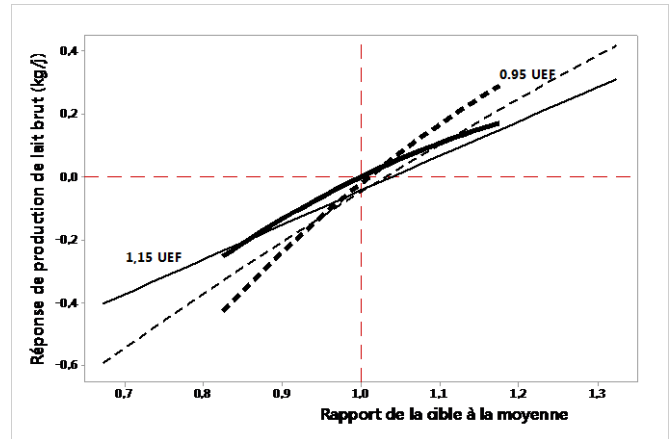
### 2.1.3. Calcul de la production laitière potentielle de l'animal cible.

Dans l'étape (1), le choix de l'animal cible est raisonné en fonction de la proportion des individus dont on cherche à couvrir les besoins UFL ( $0 < PROP < 1$ ). On en déduit le rapport de PLS entre la chèvre cible et la PLSpot du lot (RapCibLot) en tenant compte du potentiel moyen PLSpot et de sa variation (ETplspot):

$$RapCibLot = 0,8749 + 0,2036 (PROP-0,5) + 1,205 (PROP-0,5)^2 - 0,1684 (PLSpot-4) * (PROP-0,5) + 0,11572 ETplspot \quad [3]$$

Cette équation a été obtenue en simulant 130 situations au sein desquelles les paramètres PROP, PLSpot et ETplspot variaient indépendamment au sein d'étendues plausibles. On en déduit la valeur de la PLS de la cible (PLScible=PLSpot x RapCibLot).

La **Figure 1** montre par exemple que la réponse de la PLB du lot s'accroît logiquement avec le critère RapCibPot, le potentiel de production (traits gras = 5 kg/j et traits fins = 3 kg/j) et l'encombrement du fourrage (traits continus = 1.15 UEF et traits pointillés = 0.95 UEF) qui exige un apport de concentré compensatoire.



**Figure 1:** Exemple de réponse laitière d'un lot en fonction du rapport de PLS de la cible à la moyenne et de deux facteurs interférents: la qualité du fourrage et la production potentielle (voir légende dans le texte).

### 2.1.4. Des productions observées des individus à leurs productions potentielles

Pour l'étape (3), le calcul des lois de réponse de chaque individu du lot nécessite de connaître leurs productions potentielles respectives. En situation concrète on connaît les valeurs moyennes potentielles du lot pour les critères PLBpot, TBpot et TPpot, d'où on déduit les productions PLSpot. On connaît également les productions individuelles observées de PLSobs<sub>i</sub>. Le but est donc de pouvoir estimer les PLSpot<sub>i</sub> des chèvres à partir des PLSobs<sub>i</sub> à l'aide d'une approche de type ingénierie reverse. Ce calcul se fait sur la base de la relation  $PLSpot_i = PLScib + B (PLSobs_i - PLScib)$  avec, pour le paramètre B, des prédictions en fonction de 3 critères liés au lot considéré, CODPOT (= PLSpot-4), RapCibLot et la qualité du fourrage estimée par son encombrement (CODUEF=UEF-1.05). On obtient ainsi :

$$B = 1,7047 + 0,08771 \text{ CODUEF} - 0,04687 \text{ CODUEF}^2 - 0,4881 \text{ CODPOT} + 0,0699 \text{ CODPOT}^2 - 0,02435 \text{ CODUEF} * \text{CODPOT} - 0,2418 \text{ RapCibLot}^2 + 0,2758 \text{ CODPOT} * \text{RapCibLot} \quad [4]$$

De cette façon on obtient les valeurs de PLSpot<sub>i</sub> associées aux valeurs de PLSobs<sub>i</sub>.

La même démarche en 2 étapes est appliquée aux PLB et aux productions de matières grasses.

## 2.2. MODELES DE DYNAMIQUE DES RESERVES, DES POIDS ET DE LA NEC

Il a été décidé de permettre aux éleveurs de pouvoir connaître, au titre de repère, les trajectoires d'évolution du PV et de la NEC de leurs chèvres lorsqu'elles sont nourries à leur potentiel. Pour atteindre cet objectif plusieurs étapes de travail ont été nécessaires.

### 2.2.1. Calcul des dynamiques du poids vif en lactation.

Pour obtenir des dynamiques pondérales tenant compte des potentiels productifs nous sommes partis des équations n° 21.19 et 21.28 d'évolutions des bilans énergétiques (en UFL) proposées par INRA 2018 en lactation et gestation respectivement. Ces valeurs de bilans UFL instantanés ont été intégrées dans le temps et interprétées en termes de réserve corporelle en supposant que 1 kg de réserve correspond à 0.433 kg de lipides et 4.82 Mcal d'énergie nette corporelle soit 2.2 UFL (INRA, 2018). Ces valeurs ne sont pas liées à l'âge de l'animal. Les cinétiques de variations pondérales ( $\Delta PVV$ , kg) ainsi obtenues ont été ajustées par un modèle à 2 compartiments partant de la valeur 0 à la mise bas:

$$\Delta PVV = a[\exp(-bt) - \exp(-ct)] \quad [5]$$

Les paramètres a, b et c de cette équation dépendent, selon différentes fonctions, du potentiel de production de lait et "t" correspond au stade du cycle (jours). Ensuite la cinétique du PV liée au phénomène de lactation a été calculée en tenant compte de l'évolution des contenus digestifs (CD%PV) dans le temps selon une équation à 4 paramètres:

$$CD\%PV = 23.83 \exp(-0.00096t) - 5.58 \exp(-0.02316t) \quad [6]$$

### 2.2.2. Prise en compte de la croissance

Il est nécessaire d'ajouter à la dynamique des tissus liée à la lactation celle liée spécifiquement à la croissance. Celle-ci est prise en compte à l'aide des équations 21.33 pour le PV, 21.34 pour la relation entre PV et PVV et 21.35b pour le gain de lipides. On tient ainsi compte du fait que la composition du croit varie en fonction du stade de croissance, donc de la parité.

### 2.2.3. Calcul des cinétiques des tissus en gestation

Pour cette phase l'équation 21.24 permet de définir la courbe de croissance du PV en gestation d'où on déduit celle du PVV qui comprend en fait les évolutions de l'utérus gravide et de l'organisme maternel (mamelle comprise). A partir de l'énergie accumulée dans l'utérus gravide (équation 21.30) il a été possible d'en déduire son évolution pondérale à partir de données de la littérature. D'autre part, l'évolution de la mobilisation en fin de gestation (équation 21.28) exprimée en UFL a été interprétée en masse de tissus mobilisée. Ensuite, à partir des cinétiques des évolutions (1) du PVV total (2) de l'utérus gravide et (3) de la mobilisation il a été possible d'obtenir par différence la cinétique d'évolution du PVV de l'organisme maternel qui passe par un maximum vers 80-100 j de gestation compte tenu de l'anabolisme de gestation (Figure 2). Toutes ces équations relatives à la gestation varient en fonction du niveau de la prolificité: 1, 2 ou 3 chevreaux.

Ces trois approches du calcul des évolutions du PVV, des réserves et du PV sont ensuite additionnées pour déterminer pour une parité, un potentiel et une prolificité donnés une courbe d'évolution pondérale en PVV et en PV. Ainsi la Figure 2 montre, pour des chèvres alpines en 1ère lactation avec une prolificité de 2, les évolutions pondérales correspondant à différents potentiels laitiers en 300 jours.

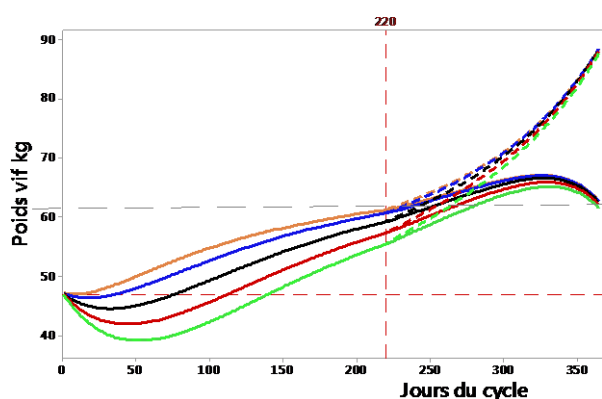


Figure 2: Evolutions simulées du poids vif de chèvres alpines en première lactation en fonction du potentiel laitier (500, 700, 900, 1100 et 1300 kg/lactation). Les pointillés correspondent au PV total en gestation).

### 2.2.4. Calcul du poids à la mise bas en fonction du poids format et des performances.

En pratique c'est le PV format (PVf) des chèvres qui est connu, donc pour pouvoir calculer les évolutions pondérales

sur un cycle il est nécessaire de pouvoir prédire le PV à la mise bas (PVmb) à partir de la donnée du PVf et de facteurs interférents que sont le potentiel (POT) et la parité (PAR). Pour cela nous avons appliqué un calcul reverse à partir de simulations mettant en jeu les calculs décrits aux points 2.2.1 et 2.2.2 pour 4 valeurs de parité (1 à 4) et 5 valeurs de potentiels (500, 700, 900, 1100, 1300 kg). On en a déduit l'équation:

$$PVmb - PVf = 1 + A \exp[-0.216 (POT/100)-4] \quad [7]$$

avec

$$A = 0.767 + 1.221 [1 - \exp(-0.619 PAR)]$$

Cette méthode permet d'approcher le PVmb à 0.5 kg près.

### 2.2.4. Calcul des dynamiques des NEC.

L'équation 21.18 permet de prédire la teneur en lipides du corps (LIP%PV) à partir de la NECsternale (NECst):

$$LIP\%PV - 12.5 = 6.25 (NECst - 3) \quad [8]$$

D'autre part, selon des données du Pradel (LeFrileux, np), une relation assez étroite lie les valeurs des NECst et lombaires (NEClmb)

$$(NEClmb - 2.5) = 0.55 (NECst - 3) \quad [9]$$

(n=557, ETR=0.22)

Cette dernière relation ayant été confirmée sur plus de 20000 résultats du Pradel (Puillet, np). Ces équations, associées aux différentes relations des parties 2.2.1 à 2.2.3. permettent de calculer les évolutions de la teneur en lipides de l'organisme en fonction du stade du cycle, de la parité, de la prolificité et du potentiel de production laitière. Par exemple la Figure 3 montre le cas d'une chèvre en 3e lactation ayant un PVmb=80 kg, une prolificité de 2, une NEClmb de 2.6 à la mise bas et en fonction de 5 potentiels. Dans cette figure les barres verticales correspondent aux repères de variations de NEC proposés dans les fiches Casdar-Syscare.

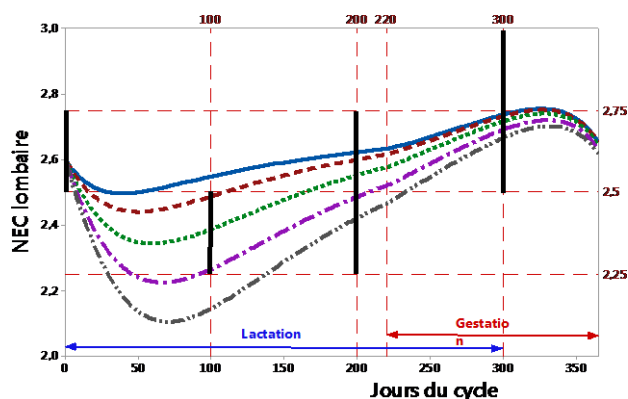


Figure 3: Exemple d'évolution de la NEC lombaire d'une chèvre en 3e lactation en fonction du potentiel de production (500, 700, 900, 1100 et 1300 kg/Lait).

On remarque à partir des Figures 2 et 3 que pendant la gestation l'évolution de la NEC est différente de celle du PV puisque'elle diminue ainsi que ça a pu être observé par Laporte-Broux et al. (2012).

## 3. DISCUSSION

En élevage caprin le lot représente un niveau d'organisation intermédiaire important entre les niveaux troupeaux et individus car c'est celui qui sert à piloter l'alimentation. L'approche décrite permet de prédire les réponses des lots, elle met en évidence le rôle important du choix de l'animal cible. La méthode décrite s'adapte également à d'autres variantes de pratiques alimentaires: apport très rationné d'un fourrage qui sera ingérés en même quantité par tous les animaux, ration mélangée, alimentation en lots en situation de pâturage restreint... Les résultats obtenus montrent que la réponse d'un lot ne correspond pas à la réponse de la chèvre

moyenne x nombre de chèvres du lot en raison du choix de l'animal cible et des réponses différentielles induites de ce fait entre les individus.

La méthode décrite permet d'intégrer de nouveaux concepts alimentaires tels que les réponses multicritères à l'alimentation et la prise en compte d'un potentiel de production. Elle permet aux techniciens d'explorer plus largement et facilement les conséquences de différents choix et conduites alimentaires des lots.

Les réponses des lots aux pratiques alimentaires ont été construites sur la base des bilans énergétiques, cependant il est également possible de prendre en compte les réponses aux apports PDI.

D'autre part, il apparaît que les différentes cinétiques proposées par Sauvant et Giger-Reverdin (2018) en lactation, croissance et en gestation s'articulent de façon assez satisfaisante et cohérente pour décrire sur un cycle de production les évolutions du poids vif, des contenus digestifs, des réserves et de la NEC. En outre il a été possible de tenir compte de facteurs tels que le potentiel de production (lait et prolificité) la parité et la race. Ces cinétiques peuvent être

intégrées au sein d'un modèle se déroulant sur plusieurs cycles de production (Puillet et al., 2010).

Ces différents modèles sont intégrés dans le module caprin du logiciel "Ruminal-INRAtion V5" .

## CONCLUSION

Ce travail a permis de proposer une méthode originale de calcul de la ration des chèvres conçue et appliquée au niveau des lots.

*Remerciements à J.Charvet et S.Giger-Reverdin pour leurs contributions.*

**Idèle/Technipel, 2011.** Alimentation pratique des chèvres laitières, 215p.

**Laporte-Broux et 6 co-auteurs, 2012,** Physiology & Behavior 106 178–184

**Puillet L., Martin O., Sauvant D., Tichit M., 2010,** Animal, 4.12, 2084-2098.

**Sauvant D., Giger-Reverdin S., 2018,** Chap 21. in Alimentation des Ruminants.728p. Ed Quae.