

Comment approcher la durabilité agro-écologique des systèmes d'élevage laitiers à la Réunion dans un modèle de comportement basé sur la programmation mathématique ?

V. Alary¹, K. Louhichi², P. Lecomte¹, M. Gousseff¹, J.P. Choisis², P.Grimaud², E. Tillard²

¹ Cirad-Emvt, Campus international de Baillarguet BP 5035- 34082 Montpellier, France

² Pôle Elevage Cirad - Ligne Paradis-97410 St Pierre, Réunion, France

Introduction

Le travail de modélisation du fonctionnement des différents types d'exploitations laitières à la Réunion permet aujourd'hui de simuler les effets de changements techniques et économiques sur la viabilité des exploitations, en tenant compte des risques climatiques et agronomiques. Cependant, face aux enjeux environnementaux, les éleveurs peuvent être amenés à changer leur système de conduite de l'élevage.

Leurs réponses vont dépendre :

- (i) des moyens de production et du mode de fonctionnement de l'exploitation, liés étroitement à sa localisation qui détermine le domaine des options techniques possibles ;
- (ii) de la pression foncière existante sur l'exploitation,
- (iii) de l'organisation territoriale des activités,
- (iv) du poids des aides dans la stabilité financière de l'exploitation, et
- (v) de la perception de l'environnement par les éleveurs.

Comment le modèle développé à la Réunion permet-il d'approcher les effets de ces changements sur les modes de gestion des éleveurs ainsi que sur la viabilité et la durabilité des différents systèmes ? Les articulations entre contraintes économiques et financières et la gestion bio-technique du système d'élevage dans le modèle permettent déjà d'appréhender les effets de changements des politiques agricoles sur quelques indicateurs de performances environnementales. A partir de ces indicateurs, on se propose de développer des hypothèses sur la façon dont l'éleveur perçoit la gestion de son environnement ; elles constitueront autant de pistes de réflexion pour la recherche et le développement.

De la gestion bio-technique à l'élaboration d'indicateurs environnementaux

Brève présentation du modèle

Le modèle de programmation mathématique développé à La Réunion vise à représenter le processus de décision des éleveurs. Cette approche est basée sur l'optimisation (maximisation ou minimisation) d'une fonction objectif(s) sous un ensemble de contraintes bio-physiques, agro-climatiques, socioéconomiques et financières. Dans le cadre de l'élevage bovin, les décisions de conduite du troupeau ou d'entretien des prairies s'inscrivent dans des horizons de planification très variés, le plus souvent supérieurs à 3 ans. En outre, à l'intérieur de cet horizon, les décisions à un moment donné vont dépendre des décisions antérieures qui ont modifié le système. Pour prendre en compte l'ensemble de ces phénomènes, un modèle dynamique de type multi-périodique récursif a été développé et validé pour 6 systèmes d'exploitations représentant la diversité des systèmes sur l'île (Alary *et al.*, 2001; Louhichi *et al.*, 2002).

Construction des indicateurs environnementaux dans le modèle – Exemple de la gestion azotée

On se propose à partir de la question de développement relative à la gestion des effluents, un des co-produits de l'activité d'élevage, d'ébaucher des hypothèses sur la façon de formaliser la prise en compte de l'environnement dans l'analyse de la durabilité des exploitations laitières à La Réunion. Tout d'abord, en partant des données de gestion technico-économique de l'exploitation, le bilan global et l'efficacité azotée sont analysés comme des indicateurs généraux de l'impact sur l'environnement (Stilmant *et al.*, 2000), et ceci en reconstituant les pools d'entrées et de sorties d'azote de l'exploitation (Tableau I). Il s'agit à cette étape d'un bilan simplifié qui ne tient pas

compte (i) ni des exportations ou importations possibles de matière organique, (ii) ni des pertes par volatilisation ou autres processus. A partir des données du bilan, l'efficacité azotée (Eff) une année donnée (ye) est définie, selon Stilmant (2000), par le rapport entre les quantités d'azote (N) exportée et importée: $Eff_{ye} = N_{exporté, ye} / N_{importé, ye}$. On peut aussi calculer le solde global d'azote restant sur le territoire de l'exploitation (NExcess) à la fin de l'année ye, en rapportant le bilan azoté à la surface agricole utile (SAU) : $NExcess_{ye} = (N_{importé} - N_{exporté}) / SAU$

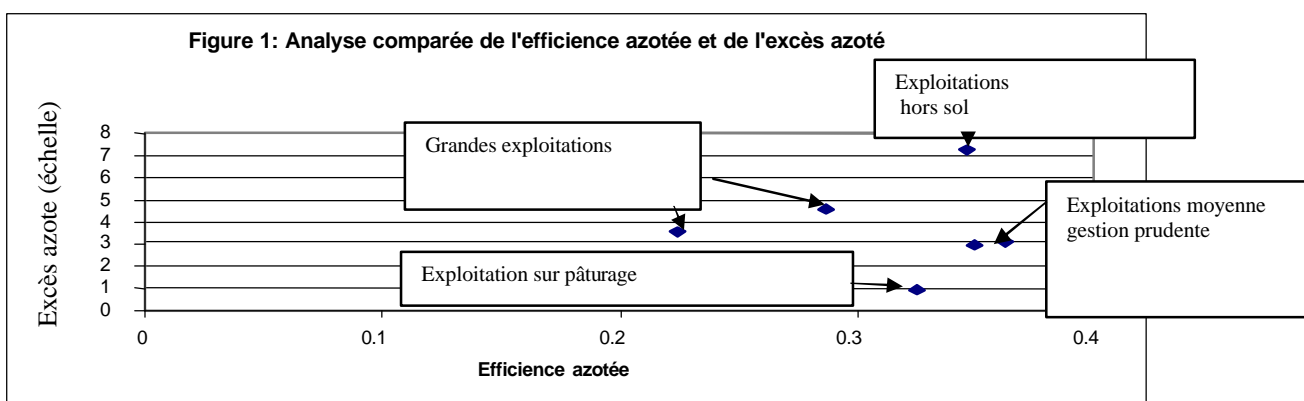
Tableau I : Entrées et sorties

Entrée Azote	Sortie Azote
Achat de concentrés : $\sum_{c,f} CONC_{c,ex} * VALIM^{PDIN,c} * a$	Vente de concentrés : $\sum_{c,f} VCONC_{c,ex} * VALIM^{PDIN,c} * a$
Achat Fourrages : $\sum_{Fou,f} ACHATF_{Fou,ex} * VALIM^{PDIN,fou} * a$	Vente Fourrages : $\sum_{Fou,f} VENTEF_{Fou,ex} * VALIM^{PDIN,fou} * a$
Fertilisation :	Vente lait : $\sum_{ani,gen} PLAIT_{ani,gen,f} * I$
Achat animaux : $\sum_{ani,gen} ACHATANI_{ani,gen,f} * Poids_{ani,gen} * AniN_{ani}$	Vente animaux : $\sum_{ani,gen} VENTANI_{ani,gen,f} * Poids_{ani,gen} * AniN_{ani}$

c : type de concentré ; f : type d'exploitation ; fou : type de fourrage ; ame : renouvellement ou pas de la prairie ; t : technique de récolte, cp : nombre de coupes ; ani : type d'animal selon le stade physiologique ; gen : potentiel génétique des animaux.
 CONC : quantité de concentré achetée ; ACHATF/VENTEF : achat-vente de fourrages ; VALIM : valeur PDIN des aliments ; TERC : surface exploitée ; FERTA : fertilisation selon que la prairie est renouvelée ou pas en début de saison ; FERT : fertilisation après chaque coupe en fonction du mode d'exploitation ; ACHATANI/VENTANI : achat et vente des animaux ; Poids : poids des animaux ; PLAIT : vente lait en litres
 a : on suppose un pourcentage de 16% d'azote par unité de MAT (Matière azotée totale) et 80% de digestibilité de la MAT;
 β : quantité d'N/ kg de fertilisant selon la composition des fertilisants ;
 ? : quantité d'azote par litre de lait (on suppose un lait à 4.5% de taux de protéine et 6.03% d'azote / unité de protéine lait) ;
 μ : quantité d'azote importée par kg poids vif (on suppose qu'un kg de poids vif contient 50% de muscle à 28% de protéine).

Présentation de quelques résultats

Les résultats montrent que l'efficacité est relativement élevée, comparée aux taux calculés en Europe proches de 0,16. Le bilan azoté par hectare se situerait en moyenne autour de 217 kg/hectare (Gousseff *et al.*, 2002), mais avec des écarts entre systèmes d'exploitation (Figure 1). On observe bien évidemment de forts écarts entre les systèmes extensifs des Hauts de l'Ouest basés sur le pâturage de kikuyu et les systèmes quasiment hors-sol.



L'analyse croisée par exploitation de l'efficacité azotée et de l'excès azoté montre qu'il n'y a pas de corrélation simple entre ces deux indicateurs. Ces résultats montrent aussi que l'on pourrait dès à présent approcher l'influence des conduites d'alimentation et des modes de production sur ces indicateurs environnementaux et tester différents scénarios pour analyser les changements sur les comportements ou la prise de décision des éleveurs. Le modèle s'avère donc un moyen approprié

pour intégrer la dimension environnementale et analyser la durabilité des systèmes, à côté de la recherche de viabilité et de stabilité du système famille-exploitation.

Quels schémas conceptuels pour représenter le processus de décision ?

Débat utilité-contrainte - Exemples théoriques

Dans le cadre de la nouvelle politique agricole, les décisions de production selon un modèle préconisé par les mesures agro-environnementales « d'éco-conditionnalités » vont dépendre à la fois (i) du montant de l'aide, qui vient en compensation à la perte en production ou/et en revenu induite par la nouvelle mesure environnementale, ou en compensation d'options techniques pour valoriser les effluents, et (ii) des choix ou objectifs personnels visés. Pour intégrer ces mesures dans le modèle développé à la Réunion, plusieurs méthodes sont envisageables. Dans le cas où les normes environnementales sont considérées comme des contraintes, il faut fixer des seuils pour chaque norme, ce qui va rétrécir l'espace des possibles pour les éleveurs. A titre d'exemple, pour le bilan azoté cette contrainte peut s'écrire comme suit : $N_{Excès_{ye}} < Seuil_N$. Le respect des normes ou mesures environnementales peut être également perçu comme un objectif en soi, car il constitue une condition nécessaire à la durabilité du système. Dans ce cas, la recherche d'une solution optimale impliquerait une intégration, au moment de la prise de décision, de tous les objectifs : économiques, techniques, environnementaux, etc... Pour formaliser le problème dans le cas où l'éleveur cherche à maximiser son revenu tout en minimisant le risque et l'excès azoté, deux méthodes sont proposées :

a) La première méthode, dites *Goal Programming Model (GP)*, vise à minimiser la déviation entre les buts à atteindre et la réalisation (Ignizio, 1978). Appliquée à notre objet d'étude, les fonctions relatives à chaque objectif s'écriraient:

$$(1) B_1 = \sum_{t=1}^T \text{Revenu} + n_1 - p_1 = \text{Revenu Objectif}$$

$$(2) B_2 = \sum_{t=1}^T \frac{(\text{Import} - \text{Export})}{SAU} + n_2 - p_2 = \text{Excès } N$$

Pour chaque but, deux variables sont incluses : n_i qui mesure l'écart négatif à la valeur à satisfaire, et p_i qui mesure l'écart positif à cette valeur. Si l'on suppose que, pour un type d'exploitation, le revenu annuel visé, *Revenu Objectif*, est de 30000 Euro/an, et l'excès azoté, *Excès N*, de 150 kg/ha, en pondérant proportionnellement les déviations par rapport à chaque but, l'objectif recherché revient à minimiser la somme des variables de déviation de chaque objectif, soit :

$$(4) U = a_1 \frac{n_1}{30000} \cdot 100 + a_2 \frac{p_2}{150} \cdot 100$$

Le principal inconvénient de cette méthode est la fixation de valeurs à satisfaire dans le processus de décision.

b) Les méthodes de programmation multi-objectifs (appelées MOP) visent à générer un ensemble de solutions efficaces qui tiennent compte des multiples objectifs, combinés dans une seule fonction avec un système de coefficient de pondération (Romero et Rehman, 1989). La détermination de la matrice de gains ou de *pay-off* constitue le point de départ de ce type d'analyse. Cette matrice consiste à optimiser chacun des objectifs séparément tout en calculant les valeurs que prennent les autres objectifs dans chacune des solutions optimales. Elle nous indique les points « idéal » et « anti-idéal » de chaque objectif ainsi que leurs intervalles de variation (tableau II)

Tableau II : Exemple d'une matrice de *pay-off* (données théoriques)

	Revenu disponible	Excès azoté
Max Revenu disponible	30 000	200
Min Excès azoté	20 000	130

La solution idéale qui répond à tous les objectifs est déterminée par la diagonale de la matrice. Cependant, cette solution est rarement atteinte du fait des relations contradictoires parfois conflictuelles entre les objectifs. Diminuer l'excès azoté peut entraîner une diminution de la rentabilité économique de l'exploitation à court terme. La méthode dite « méthode de compromis » se fonde sur le concept de la fonction distance et vise à minimiser l'écart ou la distance entre le point idéal et chaque solution (Romero et Rehman, 1989). Mathématiquement, cette méthode pourrait s'écrire comme suit (Piech, 1993) :

$$(7) \text{ Min } L_1 = b_1 \frac{30000 - z_1}{30000 - 20000} + b_2 \frac{z_2 - 130}{200 - 130}$$

Donc il existe des moyens de formaliser la complexité des objectifs des éleveurs et de simuler l'impact de différents changements sur les décisions des éleveurs. Mais le passage de la formulation à l'application nécessite de prendre en compte l'ensemble des phénomènes physiques et biologiques qui régissent les flux d'azote à court et à long terme.

Des lacunes du modèle à une approche multidisciplinaire

Si ces premiers indicateurs environnementaux permettent d'aborder la composante agro-écologique de la durabilité des systèmes d'élevages, leur validation nécessite une approche fine de la ressource et de son utilisation par l'animal : données de composition intrinsèque de la matière disponible, réellement ingérée et déféquée par les animaux, bilans saisonniers de masses et de qualités de ressources disponibles, de charges animales, conduite de l'alimentation, devenir des litières, etc. (Lecomte *et al.*, 2003).

Dans une approche dynamique, il faudrait aussi tenir compte des effets bénéfiques et de substitution de la matière organique naturelle et des fertilisants chimiques. Dès lors, le flux d'azote entre les différents compartiments de l'exploitation (animal, fosse, surface fourragère) s'inscrit dans le temps avec des effets différenciés à court et long terme et sur un espace à géométrie variable selon les conditions d'échanges économiques et sociaux.

Conclusion

Si le modèle représente un outil utile dans une démarche de compréhension des choix techniques et économiques des éleveurs compte tenu de leur système, seule une approche relativement fine des mécanismes biologiques peut permettre de calculer de manière précise un bilan.

On voit se dessiner la nécessité de coupler des approches :

- i) d'une part, un système à compartiments qui prendrait en compte les différentes options techniques possibles et leur effet sur les compartiments suivants. Par exemple, le recyclage des effluents en prairie après compostage peut permettre de diminuer la facture d'engrais et le bilan des entrées d'azote minéral, etc.
- ii) d'autre part, l'introduction de ce panel d'options techniques dans le modèle de programmation mathématique permettrait d'approcher, avec les méthodes de programmation multi-critères ou multi-objectifs, les solutions les plus efficaces pour chaque type d'exploitation *i.e.* les solutions qui tiennent compte de la viabilité des exploitations et de la durabilité des systèmes.

Bibliographie

Alary V., Messad S., Tillard E., 2001. Approche fonctionnelle de la diversité des systèmes d'élevage laitiers à l'île de La Réunion. Utilisation de l'AFM (Analyse Factorielle Multiple) comme aide à l'interprétation de la variabilité inter et intra groupe. Rencontre sur les Recherches autour des Ruminants. 8, 251-255.

Gousseff M., Grimaud P., Lecomte P., 2002. Approche de l'incidence environnementale des systèmes de production laitiers sur l'île de la Réunion. Rencontres sur les Recherches autour des Ruminants, 9,122.

- Ignizio J.P.**, 1978. A review of Goal Programming : A tool for multiobjective analysis. *J. Opl. Res. Soc.*, 29 (11), 1109-1119.
- Lecomte P., Boval M., Guerin H., Ickowicz A., Huguenin J., Limbourg P.**, 2002. Carbone et élevage de ruminants. Colloque International : Montpellier, 23-28 septembre 2002 Influences de la gestion de la biomasse sur l'érosion et la séquestration du carbone.
- Louhichi K., Fertil G., Alary V., Choisis J.P., Lepetit J.**, 2002. Apport de la modélisation économique à l'analyse prospective et l'aide au pilotage des systèmes d'élevage laitier à la Réunion. Rencontre sur les Recherches autour des Ruminants. 9, 57-60.
- Piech B.**, 1993. Application of Multiple Criteria Decision Making Method to Farm Planning : a Case Study, *Agricultural Systems* 41, 305-319.
- Romero C., Rehman T.**, 1989. *Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions*. Elsevier, Amsterdam, 257 pp.
- Stilmant D., Fabry L., Parache P., Lecomte, P.**, 2000. Appraisal and control of environmental incidence of dairy farming systems in East Belgium, Normative vs farm practices approach.