



HAL
open science

Application d'un modèle économique dynamique à l'analyse prospective des systèmes d'élevage laitiers à la Réunion

Kamel Louhichi, Veronique Alary, Jean Philippe Choisis, Emmanuel E. Tillard,
Patrice Grimaud

► **To cite this version:**

Kamel Louhichi, Veronique Alary, Jean Philippe Choisis, Emmanuel E. Tillard, Patrice Grimaud. Application d'un modèle économique dynamique à l'analyse prospective des systèmes d'élevage laitiers à la Réunion. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD). 2004, 109 p. <hal-02537889>

HAL Id: hal-02537889

<https://hal.inrae.fr/hal-02537889v1>

Submitted on 9 Apr 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

CIRAD-ELEVAGE



**APPLICATION D'UN MODELE ECONOMIQUE DYNAMIQUE A
L'ANALYSE PROSPECTIVE DES SYSTEMES
D'ELEVAGE LAITIERS A LA REUNION**

Kamel LOUHICHI

Post Doctorat

*Programme Productions Animales, CIRAD-Emvt
Pôle Elevage, La Réunion*

Avec la collaboration de : Véronique Alary, Agro-économiste, CIRAD-Emvt

Jean Philippe Choisis, Zootechnicien, INRA-SAD

Emmanuel Tillard, Zootechnicien, CIRAD-Emvt

Patrice Grimaud, Zootechnicien, CIRAD-Emvt



**Cirad-Elevage
7 chemin de l'IRAT
97410 St pierre
LA REUNION**

Octobre 2004

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 1. L'ELEVAGE BOVIN LAITIER A LA REUNION : UN SECTEUR EVOLUTIF ET INCERTAIN

- I. Contexte général de l'élevage bovin laitier - 7 -
- II. Histoire et modalités d'intervention publique dans le secteur bovin laitier - 8 -

CHAPITRE 2. LA MODELISATION ECONOMIQUE RETENUE : FONDEMENTS ET POSITIONNEMENT THEORIQUE

- Introduction - 12 -
- I. Choix de l'approche de modélisation - 12 -
- II. Les modèles de programmation mathématique linéaire (PML) - 16 -
 - II.1 Aperçu historique sur la programmation mathématique* - 17 -
 - II.2 Structure du modèle de programmation mathématique linéaire* - 18 -
 - II.3 Utilisation et intérêt de la programmation mathématique* - 18 -
- III. L'échelle temporelle et spatiale de la modélisation choisie - 19 -
 - III.1 L'échelle temporelle : un modèle dynamique récursif* - 19 -
 - III.2 L'échelle spatiale : du modèle individuel au modèle agrégé* - 21 -
- Conclusion - 26 -

CHAPITRE 3. CONCEPTION ET CONSTRUCTION DES MODELES ECONOMIQUES D'EXPLOITATION

- Introduction : structure et composantes du modèle économique d'exploitation - 27 -
- I. Les activités productives - 28 -
 - I.1 Les activités végétales : production du fourrage* - 29 -
 - I.2 Les activités animales : production du lait* - 30 -
- II. Formulation de la fonction objectif et prise en compte du risque - 31 -
 - II.1 La fonction objectif sans risque* - 31 -
 - II.2 La fonction objectif avec risque* - 40 -
- III. Formulation des contraintes de multipériodicité et de récursivité - 41 -
 - III.1 Contraintes liées aux facteurs de production* - 42 -
 - III.2 Contraintes relatives à l'élevage* - 47 -
 - III.3 Les contraintes financières* - 52 -
 - III.3 Les contraintes financières* - 53 -
 - III.4 Les contraintes réglementaires liées aux systèmes d'aides* - 58 -
- Conclusion - 61 -

CHAPITRE 4. RESULTATS ET DISCUSSION

I. Calibrage et validation des modèles économiques	- 63 -
II. Etalonnage et construction du scénario de référence	- 65 -
<i>II.1 Le modèle des exploitations moyennes à faible autonomie fourragère (groupe 1)</i>	- 65 -
<i>II.2 Le modèle des grandes exploitations de type GAEC basées sur un système mixte fourrage -pâturage (groupe 2)</i>	- 67 -
<i>II.3 Le modèle des exploitations moyennes à bonne autonomie fourragère (groupe 3).</i>	- 69 -
<i>II.4 Le modèle des exploitations de type Hors sol (groupe 4).</i>	- 70 -
<i>II.5 Le modèle des jeunes exploitations en cours de constitution (groupe 5).</i>	- 72 -
<i>II.6 Le modèle Exploitations extensives sur pâture (groupe 6).</i>	- 73 -
III. Simulation et analyse de sensibilité des exploitations à leur environnement	- 75 -
<i>III.1 Scénario 1 : suppression de l'aide au prix du lait</i>	- 75 -
<i>III.2 Scénario 2 : renouvellement du troupeau à partir des génisses élevées sur l'exploitation</i>	- 78 -
Conclusion	- 80 -

CHAPITRE 5. LE MODELE AGREGE COMME PERSPECTIVE

Introduction	- 82 -
I. Type de modèle agrégé retenu et issu d'agrégation	- 82 -
II. Les équations du modèle agrégé	- 85 -
<i>II.1 La fonction objectif agrégée</i>	- 85 -
<i>II.2 Calcul du poids relatif à chaque groupe d'exploitations ($POID_h$)</i>	- 86 -
<i>II.3 Equations de transfert entre les exploitations types et les contraintes régionales</i>	- 87 -
Conclusion	- 90 -
Références bibliographiques	- 90 -
Annexes	- 94 -

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Les principaux modèles de programmations développées en agriculture	- 16 -
Tableau 2. Répartition des aides ICHN selon les plages de chargements (2001)	- 60 -
Tableau 3. Ecart entre les données observées et les résultats des modèles (2000)	- 64 -
Tableau 4. Répartition de l'élevage bovin laitier et de la production laitière par région	- 87 -
Tableau 5. Nombre d'exploitations par groupe au niveau régional (2000)	- 87 -

PREAMBULE

Le présent travail est le fruit d'une forte coopération entre le pôle élevage à la Réunion et la coopérative laitière (Sicalait) dans le but d'analyser la viabilité des exploitations bovines laitières et leur perspective d'évolution dans un contexte de modification du système d'aides ou de changements technologiques. Il a été conduit par Kamel Loubichi dans le cadre de son post doctorat au Cirad-Emvt, en collaboration avec les chercheurs et les techniciens du pôle élevage ainsi qu'avec la participation des techniciens de la Sicalait et de l'UAFP.

L'objectif principal était de mettre au point un outil d'aide à la conception et à la décision stratégique pour l'analyse et l'anticipation, à l'échelon individuel et régional des effets socio-économiques et environnementaux de politiques agricoles sur, notamment, les choix de productions, les revenus agricoles et les dépenses publiques.

Cet outil qui fait appel à la programmation mathématique et à ses concepts de frontières de possibilité de production en milieu contraignant est actuellement fonctionnel et devrait être approprié par les agriculteurs, les conseillers et les décideurs dans leurs réflexions sur la conduite future des exploitations agricoles dans un environnement incertain.

Nous espérons que cette modeste étude appellera de nombreux commentaires et échanges pour faire progresser ces idées et ce type d'approche notamment dans le domaine de l'élevage.

Le texte est organisé comme suit : le premier chapitre présente un aperçu rapide sur le contexte et la problématique actuelle de l'élevage bovin laitier à la Réunion. Le second expose les principales approches méthodologiques développées par la théorie économique pour l'analyse de l'impact des politiques agricoles et environnementales sur les systèmes de production et sur la viabilité des exploitations agricoles. Un bref esquisse sur les fondements et les spécificités de chacune de ces méthodes est avancé, suivi par un rapprochement rapide de celles-ci avec la problématique de l'élevage à la Réunion. Le troisième chapitre expose un regard sur la conception, la construction et l'application de l'approche retenue : la programmation mathématique dynamique. Le quatrième est consacré à l'analyse et à la discussion des résultats technico-économiques de différents modèles économiques d'exploitation. Une anticipation des résultats pour les cinq prochaines années est exposée, suivi par une simulation des effets économiques probables des réformes de certaines politiques et pratiques agricoles. Le dernier chapitre synthétique retrace les principaux défis à relever et ouvre la voie à la construction d'un modèle agrégé indispensable pour l'analyse des effets des réformes des politiques à l'échelon régional.

REMERCIEMENTS

C'est avec un grand plaisir que j'exprime à travers ces lignes mes remerciements bien sincères à tous ceux qui m'ont aidé à accomplir ce modeste travail grâce à leurs suggestions, conseils et collaborations si précieuses, en particulier :

Mme Véronique Alary, Mr Jean Philippe Choisis, Mr Emmanuel Tillard, Mr Patrice Grimaud et Mr Jean Yves Latchimy du Pôle élevage qui ont, avec leurs suggestions, orientations et conseils contribué de très près à l'élaboration de toutes les parties de ce document. C'est grâce à leur présence et entière disponibilité que j'ai pu mener mon travail à terme, qu'ils trouvent ainsi le témoignage de ma profonde gratitude.

Tout le personnel de la coopérative laitière (SICALAIT) et en particulier le directeur Mr Evenat et les techniciens Mr Fertil G., Mr Lepetit J. et Mr Bigot Ch. E. pour m'avoir permis d'accéder aux informations nécessaires et surtout pour leur disponibilité et collaboration dans le processus de co-construction des modèles économiques développés dans ce travail.

Je voudrais adresser également mes remerciements à tous les éleveurs laitiers et plus particulièrement Mr Jean René Reboul, Mr Yanik Marianne, Mr Etienne Vitry, Mr Jean François Hoareau, Mr Thierry Caroupin, Mr Barret Johny, Mr Joel Begue et Mr Joseph Morel pour leurs hospitalités, disponibilités et surtout leurs coopérations permanentes. Qu'ils trouvent ici l'expression d'une véritable reconnaissance.

Je n'oublie pas de remercier Mr Thomas et Mr Barbet-Massin, techniciens de l'UAFP qui ont bien voulu faire partie de ce travail par leurs supports techniques. Je tiens à les remercier vivement.

Enfin, un grand merci à tout le personnel du Pôle élevage et plus particulièrement à Mme Gisèle Morel et Mme Olivia Fontaine.

CHAPITRE 1. L'ELEVAGE BOVIN LAITIER A LA REUNION : UN SECTEUR EVOLUTIF ET INCERTAIN

I. Contexte général de l'élevage bovin laitier

L'élevage bovin laitier à la Réunion, sous sa forme actuelle, est une activité récente. C'est, en effet, au début des années 70 qu'émergent publiquement les préoccupations relatives aux filières bovines dans un but d'aménagement du territoire. Il s'agissait notamment de freiner l'exode rural, particulièrement prononcé dans les Hauts de l'île suite à la crise du géranium, mais également d'améliorer l'auto-alimentation du marché local.

Abondée par des fonds régionaux mais également européens, une politique de développement a été ainsi mise en place à partir de 1972 dont les principales actions sont la réforme foncière sur les Hauts de l'île, l'installation et le développement d'ateliers spécialisés, la création et le renforcement de structures d'appui technique, la garantie de prix «raisonnables et encourageants », etc. Cette politique dont l'ambition primordiale est le maintien d'une activité dans les Hauts à travers l'augmentation du cheptel et l'amélioration constante de la productivité est perçue aujourd'hui, dans le monde agricole, comme une grande réussite même si la majeure partie de la consommation reste couverte par les importations. Elle a permis, sur une période relativement courte, une augmentation remarquable du troupeau laitier, qui, à ce jour, atteint un effectif de près de 4140 têtes, réparties dans 148 exploitations, et une amélioration sans cesse croissante de la production laitière qui atteint, en 2001, près de 21,4 millions de litres (Sicalait, 2001).

Les soutiens spécifiques qui ont été accordés à ces secteurs ne sont toutefois pas acquis définitivement. Les éleveurs devront à moyen terme répondre à des injonctions contradictoires provenant des bailleurs de fonds (Europe, Etat et Région) mais également de la société, même si la Réunion bénéficie encore, pour un certain temps, de clauses dérogatoires liées à sa situation géographique ultra-périphérique. Ces injonctions visent essentiellement une plus grande «autonomie» financière des exploitations, une amélioration de l'auto-alimentation de l'île dont le marché est très déficitaire et en expansion soutenue (la production ne couvre que 20% de la consommation locale en produits laitiers) et une participation accrue à la création d'emploi agricole et à la protection de l'environnement et des ressources naturelles. Ces 2 derniers aspects sont particulièrement sensibles dans une île où le taux de chômage atteint 37% et où un accroissement des chargements et des effluents peuvent entrer en contradiction avec un autre pôle de développement économique : le tourisme. A ces injonctions s'ajoute le problème du foncier qui est devenu un objet de conflit permanent entre l'urbanisation, le tourisme (avec la perspective de la mise en place d'un parc national) et l'agriculture, mais aussi entre les différentes filières agricoles utilisatrices d'espace (lait, viande, canne à sucre).

Cette conjonction d'évènements induit, chez les professionnels de l'élevage laitier une grande inquiétude sur l'avenir de leur filière. Ces inquiétudes se situent en grande partie au niveau des exploitations agricoles : dans quelles conditions une exploitation laitière peut être viable ? Quels sont les choix techniques qui peuvent être faits ? Comment accroître la productivité, assurer la viabilité et la

compétitivité future des exploitations, tout en respectant l'environnement (accroissement des effluents) face à des réformes probables du système d'aide et une évolution des prix (des intrants et des produits)? Quels sont les degrés de flexibilité¹ et les marges de manœuvres des systèmes de productions existants ?

Le présent travail s'inscrit dans cette problématique. L'idée est, en s'appuyant sur une approche pluridisciplinaire et une vision globale de l'exploitation, d'apporter des éléments de réponse à ces interrogations par la mise au point d'un outil de suivi et d'aide à la conception collective. Les objectifs sont 1) comprendre la façon dont les éleveurs font leurs choix, le type de critères et de langage qu'ils utilisent et surtout les modèles de gestion et d'action pratiqués 2) identifier les déterminants clés et le degré de flexibilité des systèmes de production existants 3) anticiper les transformations des systèmes productifs et des modes de gestion dans leurs différentes composantes (technique, économique, organisationnelle, sociale,...) face à des changements probables d'environnement (les systèmes d'aides et des prix) 4) conduire à une appropriation et un usage de l'outil par ses utilisateurs futurs (chercheurs, techniciens, décideurs...) 5) construire un modèle agrégé régional qui nous permette grâce à ses aspects heuristiques et prospectif de porter un regard sur l'évolution globale de la filière ainsi que sur l'allocation des ressources et la répartition des aides entre les exploitations..

Toutefois, avant de se pencher sur l'analyse de l'impact technico-économique de ces changements, il est nécessaire d'avancer un bref aperçu sur les origines de ces aides (PAC, Poseidom,...), leurs spécificités et leurs justifications.

II. Histoire et modalités d'intervention publique dans le secteur bovin laitier

La filière lait à la Réunion est une filière assez jeune. Elle a commencé à se développer avec la création, il y a 40 ans, d'une société d'intérêt collectif agricole, la SICALAIT, dont les missions étaient la collecte, la transformation et la commercialisation de la production laitière de l'île. En 1972, afin de centrer plutôt son activité sur la collecte du lait, l'approvisionnement en fourniture et l'appui technique aux éleveurs, la SICALAIT cède l'activité de transformation à la Compagnie Laitière des Mascareignes (CILAM). Bien que cette spécialisation ait donné un coup de pouce non négligeable à la filière grâce à un système d'encadrement de plus en plus rapproché, ce n'est qu'en 1974 avec l'installation d'un Plan d'Aménagement des Hauts (PAH) qu'on assiste à un véritable démarrage de la filière. Ce plan qui existe encore aujourd'hui a pour objectif de développer l'élevage dans les zones difficiles, en facilitant l'accès aux parcelles par la création des chemins d'exploitation et en encourageant les jeunes éleveurs à s'installer et les éleveurs existants à effectuer des travaux d'épierrage et de défrichage sur les parcelles afin de les rendre mécanisables.

A partir de 1984, avec la mise en place des «Plans de Développement Laitier (PDL²)» destinés aux

¹ "Le terme flexibilité signifie la capacité d'adaptation, l'attitude à s'accommoder facilement aux circonstances et donc le moyen de faire face à l'incertitude. Elle traduit l'aptitude de l'entreprise à répondre à des conditions nouvelles, à développer une capacité d'apprentissage en utilisant l'information additionnelle" (Reix, 1997)

² Le PDL a pour objectif l'augmentation de la production laitière dans les hauts de l'île par un accroissement du cheptel laitier. Le montant de l'aide est fixé à 1485€ par vache laitière primaire présente sur l'exploitation ayant vêlé dans l'année, venant en accroissement net du troupeau, jusqu'à 40 vaches laitières présentes par exploitation.

éleveurs en phase d'installation ou de développement dont le but était l'augmentation du cheptel, la filière a connu un essor important. Cet essor sera consolidé par l'arrivée, au début des années 90, du programme Poseidom³ dont l'ambition primordiale était de combler le retard structurel des DOM à travers l'instauration des plans sectoriels baptisés Plan de Consolidation et de Relance de la Production Laitière. Les objectifs en sont : la valorisation des surfaces fourragères, l'amélioration du revenu des éleveurs et l'augmentation du nombre des producteurs. Ainsi, l'article 4 du Poseidom prévoit que des aides seront accordées pour l'importation d'animaux reproducteurs de race pure et l'article 6 spécifie qu'une aide forfaitaire de 8,45€/100kg du lait sera attribuée aux éleveurs dans la limite d'une quantité maximale de 20 000 tonnes pour l'ensemble des Départements d'Outre mer (ODEADOM, 1999).

En 1995, le Poseidom a été légèrement modifié par l'introduction de 2 nouvelles aides destinées à l'interprofession dans le cadre de l'article 9 bis. La première aide vient en substitution des financements préexistants de l'interprofession qui étaient assurés par des cotisations de ses membres⁴ dont la légalité était discutée, alors que la seconde, qui est forfaitaire, vise le soutien de la production et de la commercialisation de produits laitiers locaux par l'octroi aux éleveurs laitiers des Hauts d'une somme modulable en fonction de leur taille et des facteurs d'amélioration qualitative de la production mis en œuvre (on parle de Poseidom II).

Quatre ans plus tard (1999) alors que le Poseidom II allait bientôt atteindre ses échéances (fin 2000), un Poseidom III, qui s'oriente plutôt vers une amélioration de la qualité hygiénique avec la prise en compte de la problématique environnementale, a été ainsi proposé par l'interprofession. Après d'âpres négociations avec l'Union européenne le programme a été approuvé. Ce nouveau programme préconise : le maintien de l'article 4, une révision à la hausse du plafond aidé dans le cadre de l'article 6 qui passe de 20 000 à 40 000 tonnes tout en gardant le même niveau d'aide soit 8,45€/100kg (renommé article 10) et une revalorisation de plus de 40% de l'enveloppe de l'aide forfaitaire (article 9 bis) avec cependant une modulation de cette aide en cohérence avec un modèle de développement reposant sur des élevages de taille familiale prôné par l'ensemble des filières animales organisées (renommé article 11) (Sicalait, 2001). Si cette négociation a abouti à la signature du Poseidom III sur la période 2002-2006 dans des conditions encore favorables, une très forte incertitude pèse au-delà de 2006 où les soutiens aux régions ultra-périphériques devront être négociés dans un contexte d'élargissement de l'Union Européenne et d'évolution de la PAC.

En dehors de ces aides spécifiques, les éleveurs laitiers à la Réunion peuvent bénéficier d'autres primes ou subventions provenant de plusieurs organismes publics, Interprofessionnel, Régional et National, dans le but de rattraper les retards structurels et compenser les handicaps naturels. Le schéma récapitulatif ci-après (figure 1), élaboré à partir des documents disponibles et des informations

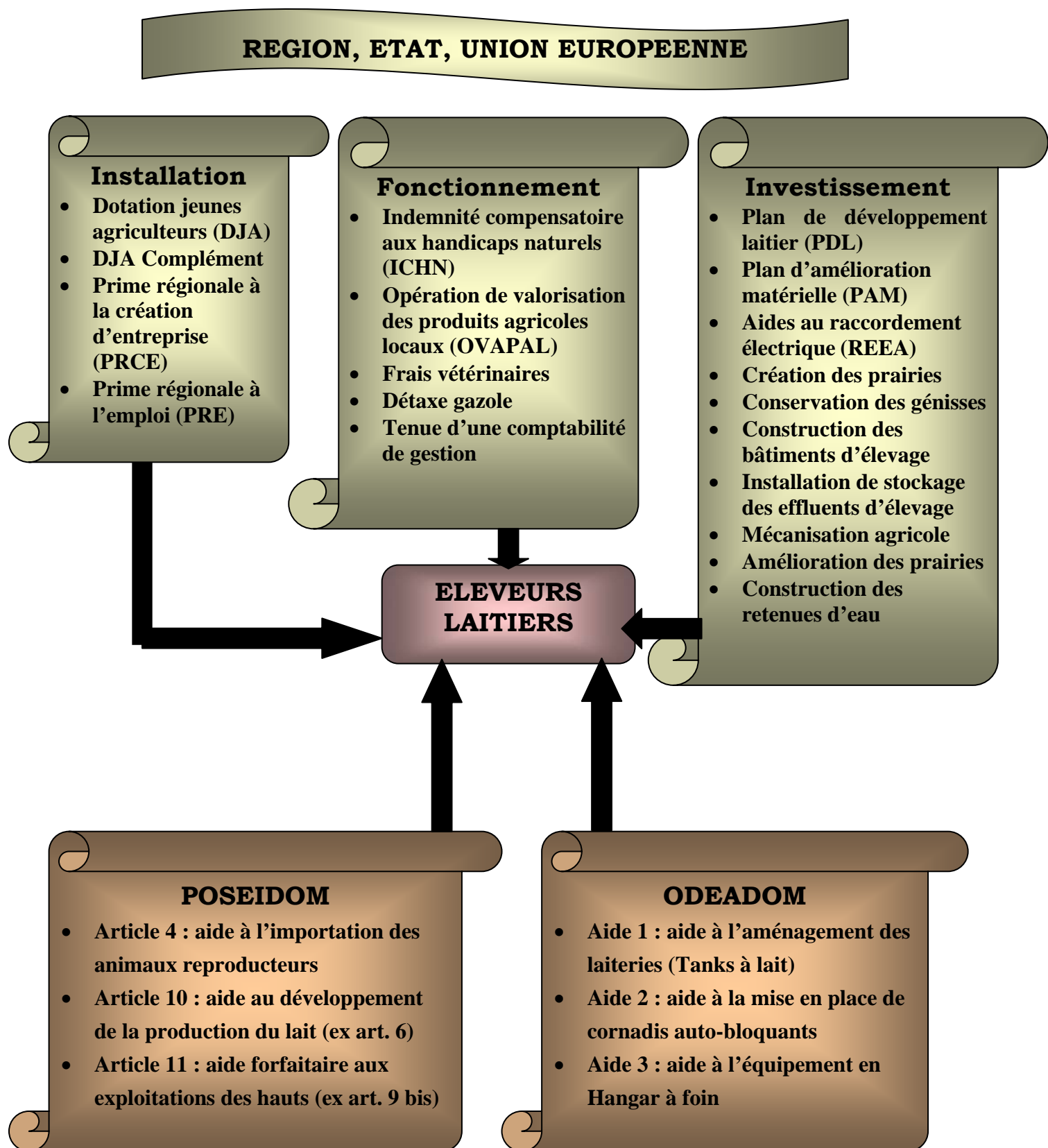
³ POSEIDOM : programme d'option spécifique à l'éloignement et à l'insularité des Départements français d'Outre Mer (DOM))

⁴ Avant 1995, le FODELAIT imposait une taxe à l'importation de produits laitiers. Ce dispositif, contraire aux règles communautaires a été remplacé par l'article 9 bis du POSEIDOM.

collectées, tente de recenser et de décrire l'ensemble de ces aides en les classant suivant les sources et les objectifs de financements (voir détails en annexe 1).

Cependant la multiplicité de ces aides n'implique pas qu'au cours de la même période un même éleveur reçoit toutes ces aides mais plutôt uniquement une partie conditionnée par des critères d'attribution spécifiques (superficie, zone, taille du troupeau, performances techniques et économiques, etc.).

Figure 1. Les aides publiques à l'élevage bovin laitier à la Réunion



Source : DAF, SICALAIT, CERFA, 2000.

CHAPITRE 2. LA MODELISATION ECONOMIQUE RETENUE : FONDEMENTS ET POSITIONNEMENT THEORIQUE

Introduction

Depuis quelques années, l'application de la science économique dans le domaine agricole a évolué, à la fois en terme de perspective et de méthode. Le changement de perspective se traduit par un intérêt de plus en plus marqué pour l'analyse micro-économique du comportement des agents. Cette approche permet d'analyser en détail les réactions des agents à des changements de politiques économiques et environnementales, et ainsi d'être mieux à même d'évaluer l'impact des différentes politiques envisageables. Du point de vue de la méthode, le changement est moins radical puisqu'il prend simplement la forme d'une généralisation de l'utilisation des méthodes quantitatives. Ces méthodes, en situation d'incertitude et en information imparfaite, s'adaptent parfaitement et leur usage est maintenant très largement répandu (Sotte, 1996).

Ce changement aussi bien de perspective que de méthode vise essentiellement la recherche des moyens et des modalités économiques concrets et quantifiables capables de répondre aux préoccupations des professionnels et de les aider dans leurs réflexions sur l'avenir. Le développement des modèles économiques, associé à la puissance et à la convivialité des outils informatiques actuels, devrait permettre de répondre assez fidèlement à ces objectifs. Ces outils, simples d'utilisation et riches de possibilités, rendent possible l'intégration d'un nombre croissant d'exigences posées par le développement du modèle conceptuel et la prise en compte de la diversité et de la complexité des facteurs influençant la décision. Qu'il s'agisse de modèle de simulation à dire d'expert, d'optimisation ou d'économétrie, ce sont généralement la reproduction de la réalité passée et présente ainsi que l'anticipation des décisions futures qui seront recherchées. Il reste à faire évidemment la distanciation entre le but recherché par l'application de tel type de modèle, ceux qui les conçoivent, ceux qui les utilisent et puis les modèles eux-mêmes.

I. Choix de l'approche de modélisation

Habituellement, pour prédire les changements de comportements et de techniques de production engendrés par une modification de la politique publique ou de la structure des prix et des aides, les économistes font généralement appel soit aux simulateurs de prévision, établis à dire d'experts, soit à des méthodes habituelles de la science économique, qui reposent sur les modèles économétriques. Dans les approches à dire d'expert, la mesure des effets est réalisée sur des cas-types ou exploitations-types, identifiés par les conseillers à partir d'une analyse des logiques de fonctionnement des exploitations. Il s'agit donc d'exploitations fictives, construites à partir de plusieurs exploitations réelles. Les critères les plus courants sont les critères structurels (taille, main-d'œuvre disponible, système de production, surfaces fourragères, etc.) et fonctionnels comme le niveau d'intensification, les choix techniques au niveau de la gestion du cheptel ou de l'alimentation. Généralement la construction des cas-types repose sur les données de suivi d'exploitations (données structurelles et économiques) mais aussi sur les appréciations des experts. Ces cas-types résultent donc d'un processus

intuitif et empirique qui est systématisé ou validé sur la base des données technico-économiques collectées auprès des exploitants.

Les outils de simulation sont variés : certains mesurent les effets de changement de prix des intrants, du matériel d'équipement ou des produits sur les résultats économiques de l'exploitation (modèle Olympe, ANAIS), d'autres permettent de vérifier a posteriori l'intérêt économique de propositions techniques. Leur handicap principal tient à leur relative jeunesse, ce qui explique que certaines étapes de la modélisation telles que le calibrage et la validation des modèles posent encore de nombreux problèmes.

Quant aux méthodes économétriques, elles reposent généralement sur l'échantillonnage pour déterminer les paramètres d'une fonction de production dont la forme est définie à l'avance. Les formes analytiques les plus couramment utilisées sont la fonction Cobb Douglas (élasticité de substitution égale à 1), la CES (élasticité de substitution constante) ou la Translog (combinaisons variant de la substituabilité totale à la complémentarité totale). Cette démarche, fondée sur l'emploi conjugué de l'inférence statistique et de la forme analytique prédéterminée, est vue comme un système de relations entre des variables qui, pour certaines d'entre elles, sont aléatoires et qu'il s'agit de préciser à la lumière d'observations. Toutefois, l'utilisation de ces méthodes se heurte à quelques limites à savoir :

❶ Faire la prévision pour le futur en utilisant des fonctions de production obtenues à partir d'une "trituration" statistique de séries chronologiques est très problématique. En effet, les rapports inputs/outputs obtenus avec les données du passé ne pourront jamais nous permettre d'établir de bonnes prévisions pour le futur, surtout si les prix relatifs entre inputs et/ou inputs et produits changent considérablement. Ceci affecte évidemment les taux de substitution de la fonction, qui peut être très vite dépassée (Flichman, 1997).

❷ Le nombre limité d'observations dans l'échantillonnage et leur caractère aléatoire peuvent empêcher l'estimation des paramètres de fonction de production (car le nombre de paramètres doit être inférieur à celui des observations) surtout dans le cas de certaines formes analytiques. En effet, les essais expérimentaux restent toujours très réducteurs pour estimer ces paramètres (Boussemart *et al*, 1996).

❸ En faisant appel à l'inférence statistique, on oblige le modélisateur à synthétiser l'information pour ne pas être contraint par le nombre de degrés de liberté du modèle, or ces agrégations supposent que l'on connaisse les fonctions de productions sous-jacentes permettant d'obtenir les optima techniques (Sckokai, 2001).

❹ La multiplicité des systèmes de production se traduit, au niveau de l'échantillon lui-même, par la réunion de firmes différentes et dans ces conditions peut-on garantir que ces firmes sont toutes soumises à la même fonction de production et qu'il est possible de construire cette dernière par une estimation correcte des paramètres ?

Construire donc des fonctions de production suivant les formes mathématiques les plus "confortables" dans le secteur de l'élevage, où des phénomènes biologiques, biophysiques, agronomiques

interviennent fortement sur l'économie des choix techniques, est loin d'être facile et l'agrégation des données régionales ou chronologiques peut masquer une multitude de facteurs importants.

Les limites de ces deux démarches nous ont conduit à nous orienter vers une troisième méthodologie basée sur la programmation mathématique. L'hypothèse de base des modèles de programmation stipule que la rationalité d'un individu se traduit par la maximisation d'une fonction d'utilité sous contraintes. Cette hypothèse, issue de la théorie néoclassique, a fortement contribué au développement de cette approche en tant qu'outil d'analyse et d'aide à la décision car elle correspond parfaitement à celles de la microéconomie classique : rationalité et caractère optimisateur de l'agent (Bortzmeier, 1992). Si cette approche est relativement ancienne dans la littérature d'économie agricole, son réel succès n'est apparu que depuis une dizaine d'années avec la disponibilité et la facilité d'accès à l'information ainsi que le développement de l'outil informatique. Ce développement a permis, en effet, la complexification des modèles par la prise en compte et la spécification d'un grand nombre de contraintes et donc d'approcher le plus possible la complexité du monde réel⁵. Un autre facteur crucial qui a poussé à l'émergence de cette approche c'est son évolution en terme théorique par un dépassement des aspects normatifs prospectifs, fortement critiqués par les approches hétérodoxes.

La programmation mathématique linéaire (PML) est une méthode usuelle de modélisation où la fonction objectif et les contraintes sont spécifiées de manière linéaire par rapport aux variables de décision. Cette approche linéaire, longtemps prédominante en économie agricole, offre l'avantage d'être plus facile à résoudre que les approches non linéaires⁶. De plus, elle supporte des technologies de production de type Leontief ; les paramètres des contraintes techniques de production s'interprètent alors comme des coefficients inputs-outputs (Just et al. 1983). Le calibrage de ces derniers peut être alors réalisé à partir d'informations techniques extérieures à la modélisation. Mais cette relative simplicité de mise en oeuvre de la PML a plusieurs revers. En particulier, un manque de flexibilité de ces modèles, une difficulté à reproduire la réalité sauf si des contraintes très sévères sont introduites et une possibilité soit de n'avoir aucun changement, soit d'avoir des « basculements » importants dans les décisions des agriculteurs en cas de choc exogène (Gohin et al, 1999). Ces problèmes, qui ont déjà été mentionnés à plusieurs reprises (McCarl, 1982 ; Hazell et Norton, 1986 ; Heckelei, 1997), rendent inconvenant l'utilisation de cette approche comme outil d'analyse de politiques agricoles.

De nombreux développements ont alors cherché à dépasser ces problèmes. Une première extension a donné naissance à la Programmation Mathématique Positive (PMP) développée formellement par Howitt en 1995. Le principal intérêt de cette méthode est sa capacité à reproduire *exactement* la situation observée, en utilisant très peu d'informations, tout en ne figeant pas le modèle et en gardant les avantages de la programmation mathématique classique. Cette méthode stipule que si les résultats du modèle ne correspondent pas à la réalité, c'est qu'il existe des contraintes techniques et des coûts qui n'ont pas été pris en compte, aussi bien que des facteurs de production hétérogènes provoquant des

⁵ Cette approche est désormais très développée. On pourra se référer aux travaux de Boussard, Deybe, Boussemart, Flichman, Zebus, Louhichi, etc.

⁶ Cet argument en faveur de l'utilisation de la PML est aujourd'hui moins pertinent.

rendements décroissants. Il est possible de détecter et de corriger ce problème en employant d'une manière très astucieuse la théorie de la dualité en incorporant ces coûts et ces contraintes dans la fonction objectif via une fonction non linéaire. La spécification non-linéaire permet de reproduire la situation observée et d'assurer un comportement « lisse » du modèle (Gohin *et al*, 1999). Cette non linéarité a été, jusqu'à présent, introduite dans la fonction de rendements à l'hectare (Howitt, 1995a) ou/et une fonction de coût de production (Arfini et Paris, 1995 ; Barkaoui et Butault, 1999). Les formes fonctionnelles les plus utilisées pour présenter la non-linéarité sont : la forme quadratique, la forme d'entropie pondérée (Paris et Howitt, 1998) et la fonction généralisée de Leontief (Howitt, 1995). L'autre avantage de cette méthode est son fort caractère positif : l'allocation choisie par l'agriculteur est *une allocation optimale* qui servira comme base pour estimer les paramètres de la fonction non linéaire et donc pour calibrer le modèle. Elle constitue ainsi une approche intermédiaire entre la programmation mathématique standard qui est souvent normative-prescriptive et l'approche économétrique, positive-descriptive. De même, cette méthode permet de dépasser le problème du modèle type ou représentatif qui s'associe généralement à l'application de la PML au niveau agrégé (régional et sectoriel) car elle se base sur l'estimation des frontières de production à chaque groupe homogène par le biais des fonctions de production et/ou des coûts dont les formes fonctionnelles sont explicites. Ces avantages associés au développement des bonnes bases de données sur les exploitations agricoles (FADN, RICA...), ont induit un réel succès de cette méthode en Europe notamment, pour évaluer l'impact de la réforme de la PAC à différents échelons (Paris et Arfini, 2000 ; Barkaoui *et al*, 1998 ; Judez *et al*, 1999 ; Britz *et al*, 1999). Cependant, il faut signaler que cette méthode présente certaines limites à savoir : 1) elle ne permet pas de « calibrer » les cultures qui ne sont pas produites lors de l'année de référence ; 2) incorporer dans la fonction de coût ou de production non-linéaire les contraintes qui sont difficilement spécifiables telles que les contraintes d'hétérogénéité des facteurs de production (terre, main d'œuvre, ...) simplifie le travail du modélisateur mais ne permet pas de détecter l'importance de chacune de ces contraintes sur le système étudié ; 3) le calibrage des paramètres de comportement conduit à un coût marginal de production constant pour la culture marginale et donc à des rendements d'échelle constants pour cette culture. Le principal problème d'hypothèse de rendements d'échelle constants et que le prix d'opportunité de la terre est figé au profit marginal de la culture à rendements d'échelle constants ; 4) le choix de la forme fonctionnelle des fonctions de coût et l'estimation de leurs paramètres posent de vrais problèmes théoriques et nous renvoie aux limites des modèles économétriques cités auparavant ; 5) le manque de validation empirique de cette méthode pour des systèmes assez complexes comme en élevage est une faiblesse majeure (Gohin *et al*, 1999); 6) la fonction de coût de production est souvent basée sur des coûts variables et n'inclut généralement pas les coûts fixes, ce qui restreint l'application de cette méthode surtout dans le domaine de l'élevage où ces coûts sont assez élevés. Beaucoup d'efforts restent alors à entreprendre pour améliorer cette méthode théoriquement et empiriquement notamment dans le domaine de l'élevage.

Une autre extension concerne l'introduction du risque au niveau des coefficients techniques des modèles notamment les rendements par hectare et/ou des prix des cultures et/ou des aides directes. Dans ce cadre, l'exploitation agricole ne maximise pas son profit mais l'utilité espérée de son profit (Boussard *et al*, 1997). Plusieurs méthodes de prise en compte du risque ont été ainsi développées : MOTAD, Target MOTAD, Espérance-écart type, Safety first... (Boussard, 1988 ; Jacquet, 1998 ; Alary *et al*, 2000). C'est cette extension que nous avons adopté dans le présent travail mais dans une optique positive descriptive. Les raisons de ce choix sont ; 1) cette méthode permet de corriger le problème de calibrage et de validation des modèles tout en sauvegardant les avantages et les spécificités de la PML ; 2) la qualité des travaux développés par les organismes de recherche à la Réunion sur les systèmes d'élevage offre une gamme très large de coefficients techniques qui augmenterait énormément la flexibilité de ces modèles, contrainte souvent rappelée par les militants de la PMP ; 3) les enquêtes et la typologie très fines réalisées par le Cirad (Taché, 2002) sur les systèmes d'élevage à la Réunion ont conduit à des groupes homogènes ce qui facilitera l'agrégation au niveau régional ; 4) la complexité des choix stratégiques et d'investissements et la multiplicité des contraintes qui caractérisent les systèmes d'élevage ne peuvent être approchées que par ce type de programmation car il est plus facile d'identifier et de modéliser tous ces choix et ces contraintes que de les introduire dans des fonctions de coûts non-linéaires ; 5) la construction des fonctions de production et/ou des coûts le plus confortable dans le cas de la Réunion s'avère assez difficile vue la complexité des systèmes d'élevage et l'absence d'une longue série de données sur les exploitations. D'autres spécificités et arguments concernant le choix de cette méthode sont détaillés dans la section suivante.

Tableau 1. Les principaux modèles de programmation développés en agriculture

	PM intégrant le risque	PMP
Modèles d'exploitation	Hazell et Norton (1986), Dono (1996), Arfini et Cesar (1993), Garoglio et Mosso (1992), Angeli et Carbone (2000), Boussard et al, 1997. Les travaux de l'équipe de l'IAM Montpellier (Flichman, Jacquet, Louhichi, Blanco, Ridier, etc.) et le Cirad Ecopol.	Howitt (1995), Gohin et Chantreuil (1999).
Modèles régionaux	Hazell et Norton (1986), Giacomine, Cesaro et Arfini (1992), Ferro et Cesaro (1992).	Paris et Arfini (1995), Howitt (1995), Barkaoui et Butault (1998), Hackelei and Britz (1999), Paris et Montresor (2000).
Modèles sectoriels	Hazell et Norton (1986), Gérard et Deybe (1995).	Paris et Howitt (2000), Hackelei et Britz (2000), Gohin et al (1999), Cakmak Erol (2003).

Source : élaboration personnelle à partir de la littérature.

II. Les modèles de programmation mathématique linéaire (PML)

II.1 Aperçu historique sur la programmation mathématique

L'utilisation du modèle de programmation mathématique par les économistes agricoles remonte aux années 50 et le rôle du professeur Heady de l'Université de l'Etat l'Iowa doit être mentionné.

Historiquement, la programmation mathématique a été développée à des fins militaires pendant la deuxième guerre mondiale par Georges Dantzig au sein du projet SCOP dont l'objectif était de calculer les plans logistiques de l'armée américaine. Ainsi, pour soutenir un tank en Europe, il fallait une certaine quantité de carburant, du personnel, lequel avait besoin de nourriture et de vêtements, le tout requérant des moyens de transport. Des procédures itératives étaient utilisées et Dantzig a eu l'idée d'adjoindre un objectif à maximiser (ou minimiser) pour pouvoir déterminer mathématiquement la solution optimale (Benoit-Cattin et Reyniers, 1996).

Depuis, ces modèles de programmation sont utilisés dans de nombreux processus de prise de décision où le décideur doit identifier et quantifier ses limites (contraintes de temps, de travail, d'argent, etc.) et doit spécifier une fonction objectif à maximiser (profit, utilité, bien-être...) ou minimiser (coût, pollution, érosion...).

Les premiers modèles intégrés en agriculture ont été construits dans les années 70 par des économistes agricoles soucieux de théories économiques se référant à un objectif d'optimisation au niveau des entreprises et de l'économie en général. Depuis, l'application de cette idée s'est rapidement étendue à d'autres domaines où les aspects technico-économiques sont importants dans les décisions de dépenses ou d'investissements. On peut citer les premières applications de 1975 en matière d'élevage (Charlton et Street, 1975), de 1979 pour le contrôle des prédateurs (Reichelderfer et Bender, 1979), de 1983 pour le contrôle des mauvaises herbes (Marra et Carlson, 1983), de 1984 pour le problème d'érosion (l'ASDA-ARS de Temple (USA), 1984) et de 1988 pour les questions de fertilisation et l'évolution des sols et de pollution des nappes (Wit et al., 1988). Actuellement, la construction de modèles économiques par culture et par type d'élevage est devenue courante dans la plupart des pays et notamment des pays développés (cité par Benoit-Cattin et Reyniers, 1996).

Cet essor remarquable des modèles, que ce soit en gestion ou en économie agricole, s'explique par le fait qu'ils permettent de représenter le fonctionnement réel des exploitations en prenant en compte l'ensemble de contraintes, techniques, financières, économiques, politiques, environnementales et de risque. Comme le signale Boussard (1988), ces modèles sont des instruments particulièrement bien adaptés aux problèmes qui se posent dans le secteur agricole, étant donnée la forte interdépendance entre ses diverses activités. Ceci est autant plus facile avec l'extension de ces modèles pour résoudre des problèmes non linéaires, aléatoires, discontinus, dynamiques, de plus en plus complexes, et ceci grâce au développement de l'outil informatique et à la multiplication des algorithmes de résolution.

II.2 Structure du modèle de programmation mathématique linéaire

Selon Boussard (1970) "Les modèles de programmation mathématique sont des représentations simplifiées mais quantifiées d'un phénomène réel". Ils permettent d'obtenir la combinaison optimale entre différentes activités soumises à diverses contraintes et concourant à la réalisation d'un objectif donné. Leurs constructions restent souvent assez difficiles du fait de la complexité du monde réel.

La spécificité des modèles de programmation mathématique se manifeste par le fait qu'ils incitent à dépasser le simple stade du constat et à s'intéresser aux dynamiques en jeu, notamment en essayant de rendre compte des ressorts technico-économiques de la diversité socio-économique.

Fondamentalement, un modèle de programmation linéaire (PML) se présente sous la forme la plus simple possible qui est la suivante (Boussard, 1987) :

$$\begin{cases} \text{Max}(\text{Min})F = \sum_i B_i X_i \\ \sum_i a_{ki} X_i \leq b_k \\ X_i \geq 0 \end{cases}$$

Où **F** représente la fonction objectif à optimiser, **B_i** le bénéfice ou le coût de chaque activité *i* (selon qu'on maximise ou on minimise la valeur de la fonction objectif), **a_{ki}** les coefficients techniques correspondant aux besoins en ressources ou en intrants *k* de l'activité *i*, **b_k** les disponibilités en ressources *k*, et **X_i** une variable dont la valeur est déterminée de manière endogène comme résultat de la résolution mathématique, représentant le niveau optimal d'intensité sous contrainte de chaque activité.

Economiquement, l'utilisation d'un tel modèle de programmation permet de visualiser les effets de la variation de certaines données (le prix des denrées, le capital disponible, le prix des produits, le taux d'intérêt, etc.) sur le choix d'activités productives. Sa matrice fournit des solutions déterminées par les contraintes techniques, économiques et politiques compte tenu d'une certaine variation sur les prix et sur les rendements. Ces solutions peuvent être utilisées, suivant des conceptions totalement différentes, soit d'une façon positive en tant qu'outil de simulation et d'aide à la décision soit d'une façon normative pour la recherche d'une solution optimale (Deybe, 1989).

II.3 Utilisation et intérêt de la programmation mathématique

Historiquement, la programmation mathématique a été utilisée par les économistes en tant qu'outil de décision purement normatif. Sa propriété essentielle était l'obtention d'une solution optimale et des plans de production meilleurs que ceux qui auraient été adoptés en leur absence. En construisant un modèle du système de production, l'économiste construit une fonction de production multi-produits essentiellement basée sur les références techniques fournies par les ingénieurs, soit à partir de résultats expérimentaux soit à partir de leur connaissance de la réalité, afin de déterminer des plans de production optimaux au niveau de l'entreprise ou du sous-secteur.

Depuis quelques années, on commence à constater que les résultats obtenus ne sont pas à la hauteur des ambitions. En économie et en gestion, l'outil est de moins en moins utilisé de cette façon car il favorise le caractère normatif "voilà ce qu'il faut faire". La capacité des modèles n'est toutefois pas mise en cause.

La présence de ces limites a induit un changement radical du mode d'utilisation de cet outil, en particulier dans le domaine de la recherche. Il est considéré de plus en plus comme une simple représentation du mode de comportement à partir de laquelle on peut faire varier différents paramètres et décrire de façon positive les résultats qui en découlent, en utilisant le modèle comme outil de simulation. Cette utilisation en tant qu'outil d'aide à la décision pour décrire le passé et prédire l'avenir soulève, néanmoins, un problème de fond qu'exprime Boussard (1970) : « Pour qu'un modèle soit valable, et étalonné, il faut que celui-ci donne des résultats conduisant à considérer comme optimale la ligne d'action effectivement suivie par les agriculteurs après avoir eu le temps de s'adapter à leur environnement ». Une fois étalonné, c'est-à-dire expliquant correctement les décisions prises dans le passé par les agriculteurs et donc suffisamment représentatif de leur comportement économique, on peut utiliser le modèle de façon prévisionnelle : quelles pourront être les nouvelles décisions des agriculteurs suite à un changement de leur environnement (niveaux des prix, des primes, progrès technique, etc.).

Pour le présent travail, nous nous sommes alignés à cette forme d'utilisation "positive-descriptive". Il ne s'agit donc pas de viser un *optimum de premier rang, inaccessible*, mais de reproduire la situation réelle en incorporant tous les outils analytiques, de comprendre les systèmes étudiés et d'anticiper les adaptations futures face à des changements extérieurs. L'objectif est que notre modélisation emprunte toujours à la théorie économique et à ses fondements, mais en la soumettant à une ouverture pluridisciplinaire et en refusant systématiquement ses approches normatives. "L'objectif est non pas de dire ce que les agriculteurs doivent faire mais comprendre pourquoi ils font ce qu'ils font" (Lacombe, 1996).

III. L'échelle temporelle et spatiale de la modélisation choisie

III.1 L'échelle temporelle : un modèle dynamique récursif

Le premier développement de la programmation mathématique a été essentiellement pour résoudre des problèmes déterministes et statiques. Aujourd'hui elle est utilisée pour des problèmes beaucoup plus complexes (aléatoires, dynamiques, non linéaires, récursifs, etc.) mais avec une tendance de plus en plus claire et réaliste comme le signale déjà Barbier en 1999 : "il faudrait chercher à intégrer les concepts théoriques dans des modèles plus compréhensibles".

Dans le présent travail, afin de mener une analyse qui puisse intégrer l'effet à long terme de divers déterminants économiques (les systèmes d'aides et des prix, les changements technologiques,...) sur le comportement des éleveurs laitiers et sur leurs choix stratégiques et d'investissement (sur la gestion des ressources, la conduite et l'évolution démographique du troupeau, etc.), nous proposons un modèle

dynamique de type *multipériodique récursif*. Les éleveurs de gros ruminants ne peuvent, en effet, élaborer leur plan de renouvellement du cheptel sans considérer le devenir de leur exploitation à moyen ou long terme. Or, le renouvellement implique des frais de logement, gardiennage, alimentation d'animaux qui ne seront productifs que deux ou trois années plus tard. La prise en compte de la rentabilité de ces investissements nécessite le recours à une programmation dynamique.

A l'inverse des modèles de programmation monophonique qui ne tiennent pas compte du facteur temps, les modèles de programmation multipériodique sont des modèles dynamiques capables de faire des simulations sur plusieurs périodes pendant lesquelles les décisions peuvent être prises. Dans un modèle de programmation multipériodique, on part d'une situation initiale et on choisit des plans de production pour les années à venir en tenant compte de toute l'information disponible sur le futur, à savoir les anticipations sur les prix et sur les rendements techniques. En effet, pour traiter les questions relatives aux investissements, le temps est une variable essentielle, étant donné que les décisions sont prises en fonction des résultats de l'exercice antérieur et de leur rentabilité économique.

La spécification d'un modèle dynamique permet une adaptation partielle à court terme et donnera une série de résultats propres à des périodes spécifiques qui indiquent à la fois l'importance des variations de l'adaptation et la vitesse à laquelle elles interviennent dans le temps. Cette spécification permet aussi aux variables endogènes de se modifier pendant la période en question même si les valeurs de toutes les variables exogènes restent fixes. Manifestement, les résultats précisant des voies d'adaptation dans le temps présentent un intérêt particulier pour les décideurs politiques. Néanmoins, leur capacité à indiquer des voies d'adaptation probables est liée au fait de savoir si les coefficients d'adaptation inclus dans le modèle reposent sur une base empirique solide ou s'ils sont simplement supposés par le concepteur du modèle.

En outre, vu que l'élaboration des plans de production d'une année quelconque est dépendante des résultats des années précédentes, il est intéressant de construire un modèle multipériodique récursif dont l'utilisation se fait pour plusieurs années et dont les résultats d'une année sont influencés par ceux des années précédentes.

Le passé conditionne essentiellement les ressources en biens intermédiaires (terre, nature de sol, matériel...) et en trésorerie. Les ressources en biens intermédiaires disponibles à l'année t dépendent directement des ressources qui étaient disponibles à l'année $t-1$. Ainsi, par exemple, la quantité de terre disponible en début d'année t est égale à la quantité à $t-1$ plus les achats de terre moins les ventes de terre réalisées au cours de l'année $t-1$. De même, la trésorerie disponible l'année $t-1$ dépend du revenu réalisé l'année précédente (différent du revenu anticipé étant donné que les prix de marché ont pu être différents des prix anticipés) et des prélèvements réalisés par l'agriculteur pour sa propre consommation.

Par ailleurs, pour avoir un modèle plus réaliste, aussi bien pour la trésorerie que pour les ressources en biens intermédiaires, la situation à l'année t ne doit pas dépendre uniquement de l'année $t-1$ mais des

années t-2, t-3,... Si l'on veut représenter de façon simple le niveau des ressources b_t à la période t en fonction des activités X_{t-1} , il faut donc que le vecteur X_{t-1} représente à la fois les activités de l'année t-1, le niveau des ressources en début de période t-1 mais aussi les activités engagées à t-2, t-3,... (notamment l'achat de matériel ou la souscription d'emprunt).

Mathématiquement, un modèle de programmation multipériodique récursif se présente sous la forme suivante :

Soit T l'horizon de planification et τ le taux d'actualisation correspondant à la préférence d'une consommation (montant) immédiate sur une consommation future, le modèle pourra s'écrire :

$$\text{Max (Min) } F = \sum_{t=t_0}^T \frac{C_t X_t - \phi \lambda_t}{(1 + \tau)^t} \text{ Avec : } A X_t \leq B_t ; B_t = b X_{t-1} ; X_t \geq 0$$

Où F : la fonction objectif à maximiser (minimiser), C_t le vecteur de revenu espéré (coût) tiré des activités productives à l'instant t, X_t le vecteur des activités, ϕ le coefficient d'aversion au risque selon la méthode Target MOTAD (Tauer, 1983), λ_t la somme des écarts négatifs par rapport à un revenu seuil, A la matrice des coefficients techniques et B_t la matrice des disponibilités en ressources qui dépendra des décisions prises à l'année t-1 (Louhichi et al, 2004).

Dans cette optimisation l'année civile sera considérée comme une unité de raisonnement pour toutes les données comptables et technico-économiques ainsi que pour le mode de gestion annuel des aides et des primes. En revanche, pour les données relatives à l'alimentation des animaux, la gestion des prairies, la définition des catégories d'animaux et la trésorerie, l'unité de raisonnement sera la saison. Deux saisons (périodes) sont ainsi prises en compte dans le modèle à savoir l'été (décembre-mai) et l'hiver (juin-novembre) car elles représentent les saisons climatiques de la Réunion en fonction desquelles le mode de gestion technico-économique des systèmes de production change considérablement.

III.2 L'échelle spatiale : du modèle individuel au modèle agrégé

Le présent travail s'inscrit dans une perspective d'analyse des comportements des producteurs laitiers face à d'éventuelles réformes des politiques interventionnistes de la PAC ou des fonds européens et les répercussions de celles-ci sur les choix techniques, la variabilité des systèmes, l'emploi, l'équilibre territorial et l'environnement. Cet objectif nécessite à la fois une représentation relativement fine de la structure des exploitations, des comportements et des stratégies des acteurs et un suivi minutieux et sur une longue période de l'impact des différentes politiques agricoles envisageables. Un tel objectif ne peut être résolu ni par des modèles d'équilibre général qui donnent des indicateurs au niveau des différents secteurs et de la croissance de l'activité, ni par des modèles individuels qui déterminent l'allocation optimale des ressources au niveau individuel sans indiquer les conséquences au niveau agrégé.

Nous avons décidé d'utiliser, dans notre travail, une modélisation intermédiaire d'équilibre partiel régional. L'originalité de cette approche est qu'elle nous permet d'avoir une représentation

relativement fine : 1) de la structure des exploitations, des comportements et des stratégies des acteurs, et 2) des relations entre unités de production au niveau régional. Elle nous permet d'anticiper et d'évaluer l'impact des éventuels changements extérieurs aussi bien au niveau individuel que régional.

Le niveau régional implique la définition des formes des marchés dans lesquels les acteurs (producteurs, consommateurs) opèrent et interfèrent, mais aussi la diversité des comportements des producteurs ou consommateurs ainsi que les « objectifs sociaux partiels ». En effet, l'insigne avantage des modèles régionaux est de pouvoir approcher voire mesurer les effets économiques et sociaux d'un changement du système d'aide ou les effets induits de politiques de subvention au niveau régional.

La base de la plupart des modèles régionaux est la prise en compte des fonctions d'offre et de demande aux différentes échelles spatiales de réalisation, dont la confrontation permettra d'approcher le prix réel auquel sont confrontés les agents. Approcher ce prix nécessiterait aussi la prise en compte des élasticités et des élasticités croisées de l'offre et la demande des produits et des facteurs et la spécification des variables et des paramètres définissant les coûts d'opportunité des facteurs dans les autres secteurs (Hazell et Norton, 1986). En effet, en agriculture, il est fréquent qu'un membre du ménage agricole travaille à l'extérieur, et donc le coût d'opportunité du travail n'est pas uniquement fonction du prix de rémunération du travail par l'agriculture, mais aussi des opportunités de travail à l'extérieur et des salaires. Ainsi la fonction de demande ou d'offre de travail dans l'exploitation a des liens étroits avec celle du ménage qui dépasse le secteur agricole. Il existe aussi différentes formes de marché pour un même bien : la paille de canne peut être vendue soit par la coopérative à un prix fixe, soit suite à un processus d'entente entre canniers et éleveurs, sachant que les éleveurs laitiers se retrouvent en compétition avec les autres éleveurs.

De plus, le modèle régional pose la question des écarts entre intérêts individuels et intérêt collectif (Hazell et Norton, 1986). Si pour les décideurs, l'objectif est de maximiser une utilité régionale (maximisation de l'offre laitière et du revenu des éleveurs au niveau régional), l'éleveur vise à augmenter son bien être ou son utilité. Autrement dit, il s'agit pour les décideurs de savoir comment allouer les fonds d'aide pour satisfaire un ensemble d'objectifs (diminution des subventions, accroissement du bien être et de la production, etc.) compte tenu des incertitudes sur la réponse des producteurs (problème d'allocation des ressources publiques compte tenu des objectifs sociaux et de restriction budgétaire). Pour les producteurs, ce sera comment allouer de façon optimale leurs facteurs pour accroître leur revenu, leurs loisirs, etc.

Plusieurs modèles sectoriels ou régionaux ont été développés, que ce soit des modèles économétriques ou des modèles de programmation mathématique. Le type de modèle agrégé retenu dans le présent travail est celui développé par Buckwell et Hazell en 1972 (Figure 2). Il est fondé sur la combinaison de plusieurs modèles individuels, d'exploitations types, dans un cadre unique agrégé où les liaisons représentant les transferts entre les exploitants sont définies de manière explicite. Dans chacune des exploitations types, le comportement micro-économique du producteur est caractérisé en supposant qu'il cherche à maximiser son utilité espérée, tout en satisfaisant une série de contraintes concernant la

terre, la main d'œuvre, la consommation et les liquidités. Dans les modèles de ce type, appelés aussi modèles d'exploitation, les prix (inputs et outputs) sont souvent laissés exogènes. Dans ce cas, ni l'incidence du comportement des producteurs sur les prix, ni l'effet en retour des prix sur les décisions de production et de consommation des ménages agricoles ne sont pris en compte. Afin de prendre en compte aussi bien l'effet prix que les échanges entre exploitations agricoles, Buckwell et Hazell proposent la construction d'un modèle de marché dans lequel se confronte l'offre et la demande.

Pour le secteur laitier réunionnais, les prix sont généralement administrés. Ils sont fixés non pas au niveau du marché local mais bien souvent au niveau européen ou national. Leur répercussion directe sur l'emploi, les salaires, les investissements est néanmoins régionale. Cette spécificité locale nous a amené à nous arrêter à la construction d'un modèle d'offre qui sera le résultat d'une agrégation des modèles individuels d'exploitations et dans lequel les prix seront toujours exogènes. Le grand intérêt de ce modèle d'offre serait, d'une part, de représenter les échanges et l'allocation des ressources entre les exploitations et d'autre part, d'anticiper l'impact sur la production laitière de changements sur les marchés et/ou de mesures de politique agricole.

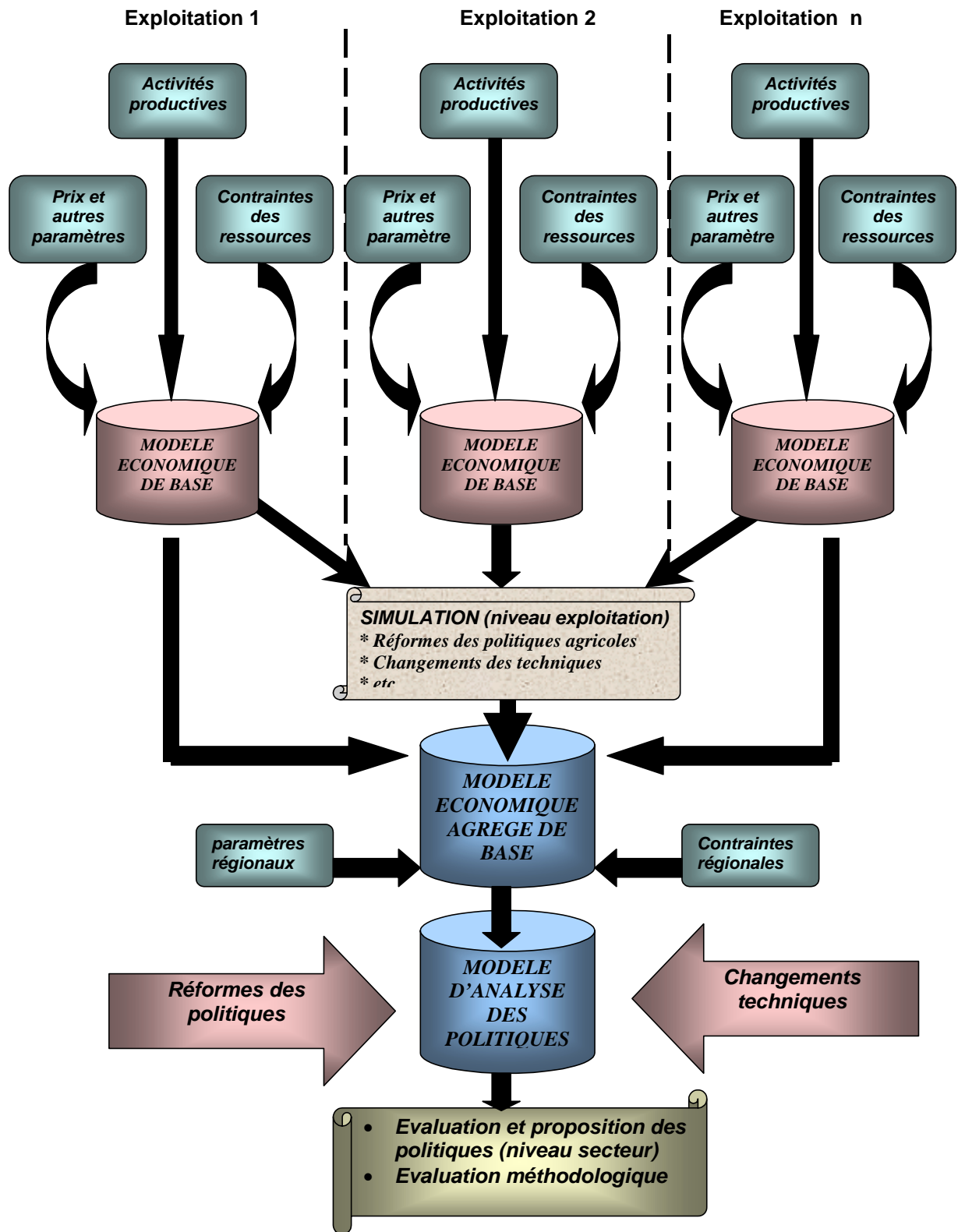
La fonction objectif de ce modèle agrégé serait la somme pondérée des fonctions objectifs individuelles tout en garantissant le respect des normes en vigueur pour l'analyse de ces derniers, c'est-à-dire en gardant les contraintes individuelles et en incorporant les contraintes régionales. L'optimisation de cette fonction objectif se fait sur un horizon de planification multipériodique de 5 ans, en tenant compte de l'information disponible sur le futur et des liens techniques et financiers « obligatoires » qui existent entre les périodes et les années.

Ce type de modèle présente néanmoins certaines limites : 1) l'agrégation à partir d'exploitations représentatives jusqu'au niveau régional ou sectoriel cause inévitablement des restrictions et des erreurs, même si les exploitations sont fort homogènes (structurellement, techniquement, économiquement, etc.) et si on pondère par le poids de chaque groupe (Hazell et Norton 1986) ; 2) l'harmonisation de la gamme et du choix d'activités alternatives dans le modèle avec celles observées dans la réalité peut poser des problèmes (les activités disponibles peuvent être limitées de façon non réaliste : seule une sous-série d'activités potentielles est réellement exercée par les agriculteurs au cours de l'année de base dont les données sont utilisées pour étalonner le modèle). En outre, le fait que le nombre d'activités ne doive pas dépasser le nombre de contraintes obligatoires peut imposer la nécessité soit de réduire le nombre d'activités disponibles dans la matrice technologique, ce qui est incompatible avec les données de l'année de base, soit d'inclure des contraintes supplémentaires qui sont fausses (Taylor, 1993).

Bien qu'il soit contraint par l'ensemble de ces limites et par le fait qu'il soit basé sur des matrices de grande taille, le modèle de Buckwell et Hazell en 1972 nous semble le plus approprié pour notre travail, en raison des spécificités suivantes : 1) la grande flexibilité de ce modèle qui est assurée par la prise en compte d'un grand nombre de coefficients et de choix techniques ; 2) le respect des objectifs et des contraintes partiels individuels ; 3) la prise en compte du risque climatique et de l'incertitude des

marchés aussi bien au niveau individuel que global ; 4) la commodité de quantification des effets et des conséquences internes d'une telle intervention politique individuellement et collectivement, etc.

FIGURE 2. : LA MODELISATION ECONOMIQUE REGIONALE



Conclusion

L'illogisme des résultats parfois obtenus à partir de modèles économiques, leur extrême sensibilité à des hypothèses faites sur, par exemple, le taux d'actualisation, ont conduit à prendre conscience de la nécessité d'adapter le mode de raisonnement économique ainsi que ces instruments aux problèmes traités, aux informations disponibles et aux objectifs recherchés. En effet, pour aborder, par exemple, le problème classique de gestion : quoi, comment, combien produire ? Les économistes utilisent le plus souvent des outils de simulation à dire d'expert fondés sur des grandeurs comptables qui permettront l'établissement de relations entre les coûts et les profits des activités agricoles. Ces grandeurs restent malheureusement très réductrices face à l'extrême complexité des relations de l'homme avec son environnement, et ne permettent jamais la détermination d'une solution économique compatible avec les contraintes propres à chaque individu. En effet, contrairement à *l'homo economicus*, parfaitement informé, évoluant dans un univers où l'avenir est certain et qui sait évaluer toutes les conséquences de ses actions possibles sur une fonction monétaire qui constitue son unique objectif, l'être humain est amené à prendre ses décisions selon des modalités très différentes. Toute décision devient alors une affaire de compromis et la solution qui sera retenue ne permet jamais la réalisation totale ou parfaite des objectifs, elle n'est que la meilleure solution possible dans des circonstances données (théorie de la rationalité limitée ou procédurale). Pour l'aider à identifier une solution, la programmation mathématique, dont la construction et la conception seront développées dans la partie suivante, nous semble une voie appropriée. Certes la programmation a ses propres limites, mais elles ne sont généralement pas contraignantes et dans la plupart des cas elles sont imputables aux capacités de l'analyse économique et de l'utilisateur : la théorie des anticipations reste à construire et l'appréciation des variations des niveaux techniques est très difficile.

CHAPITRE 3. CONCEPTION ET CONSTRUCTION DES MODELES ECONOMIQUES D'EXPLOITATION

Introduction : structure et composantes du modèle économique d'exploitation

Après l'élaboration d'une typologie fonctionnelle et sa validation par les techniciens et les professionnels (Taché, 2000 ; Alary *et al*, 2001), nous sommes entrés dans la phase de mise au point et de construction des modèles économiques. Il s'agit d'élaborer un outil d'analyse et d'aide à la décision publique (planification, conseil aux éleveurs, ...) qui se base sur la programmation mathématique et sur ses concepts de frontières de possibilité de production en milieu contraignant. Par ses aspects heuristique et prospectif, cet outil nous aide à découvrir les incohérences dans la représentation du système étudié et à analyser ses possibilités et ses perspectives d'évolution face à des modifications de son environnement.

La construction de cette modélisation se situe tout d'abord au niveau de 6 exploitations types retenues et ensuite au niveau de la région. Cette construction ou plutôt « co-construction » passe par un dialogue pluridisciplinaire associant les chercheurs des autres disciplines, les conseillers, les décideurs, les techniciens et les éleveurs eux-mêmes. Dans chacun des types d'exploitations, le modèle permet de reproduire les choix de production et les techniques adoptées compte tenu des disponibilités et du mode de gestion des facteurs de production sur l'exploitation, mais aussi des contraintes socio-économiques. Une fois accomplies ces étapes, une agrégation de l'ensemble des modèles individuels dans un modèle régional permettra de simuler l'évolution de l'ensemble de la filière et d'étudier l'allocation des ressources et leur répartition, qui découlent du système d'aide et de prix dans un cadre cohérent.

L'application de ces modèles se fait sur un horizon de planification multipériodique de 5 ans. Elle tient compte de l'information disponible sur le futur et des liens techniques et financiers « obligatoires » qui existent entre les périodes. En effet, les éleveurs de gros ruminants ne peuvent élaborer leur plan de renouvellement du cheptel sans considérer le devenir de leur exploitation à moyen ou long terme.

Dans cette application, comme nous l'avons déjà signalé, l'année civile sera considérée comme une unité de raisonnement pour toutes les données comptables et technico-économiques ainsi que pour le mode de gestion annuel des aides et des primes, par contre pour les données relatives à l'alimentation des animaux, la gestion des prairies, la définition des catégories d'animaux et la trésorerie l'unité de raisonnement sera la saison. Deux saisons (périodes) sont ainsi prises en compte dans le modèle à savoir l'été (décembre-mai) et l'hiver (juin-novembre) car elles représentent les saisons climatiques de la Réunion pour lesquelles le mode de gestion technico-économique des systèmes de production change considérablement.

Appliqué à chacune des six exploitations types, le modèle économique d'exploitation permet de reproduire les choix de production et les techniques adoptées compte tenu des disponibilités et du mode de gestion des facteurs de production. Sa construction vise essentiellement une modélisation de

la conduite d'une exploitation sous l'hypothèse de rationalité de l'agriculteur et face aux différentes conditions techniques, économiques et environnementales. Cet objectif ne peut être, néanmoins, atteint que par une identification et une hiérarchisation des facteurs et des déterminants qui affectent les choix des producteurs. Parmi ceux ci on peut citer (figure 3) :

- ❶ les activités qui s'offrent à l'agriculteur
- ❷ ses objectifs en terme de revenu, d'organisation du travail, de diversification, de protection des ressources naturelles et de l'environnement, etc.

- ❸ les ressources dont il dispose : main d'œuvre, foncier, capital technique, capital financier
- ❹ les contraintes agro-climatiques, bio-physiques, économiques, financières qui conditionnent les choix des pratiques et des itinéraires techniques
- ❺ l'environnement socio-économique dans lequel il évolue

I. Les activités productives

Cette tâche consiste à spécifier "un univers des activités productives possibles" à partir duquel l'agriculteur élabore la combinaison spécifique de son exploitation. Cet univers se présente sous la forme d'une matrice technico-économique intégrant, d'un côté, les besoins en ressources, en intrants, en main d'œuvre, en capital... de chaque activité, et de l'autre, les impacts de chaque activité au niveau de la production (rendements, valeurs alimentaires, etc.) en fonction de diverses pratiques de gestion (nombre de coupes, type d'aménagement, potentiel génétique...). L'ensemble de ces besoins et ressources constitue des paramètres exogènes aux modèles, ce qui impose une certaine rigidité dans la lecture du système. Cependant, si on veut par exemple tester les effets des réformes sur l'extensification au niveau des rendements, il est possible de les faire varier en mettant en concurrence des activités plus ou moins intensives et en introduisant un large éventail d'itinéraires techniques et de pratiques de gestion (par exemple des prairies avec différentes modalités de gestion, types d'aménagements, etc).

Cette matrice est élaborée dans le cas réunionnais sur la base de normes régionales établies par les techniciens des organismes spécialisés (Chambre d'Agriculture, Centre de coopération Internationale

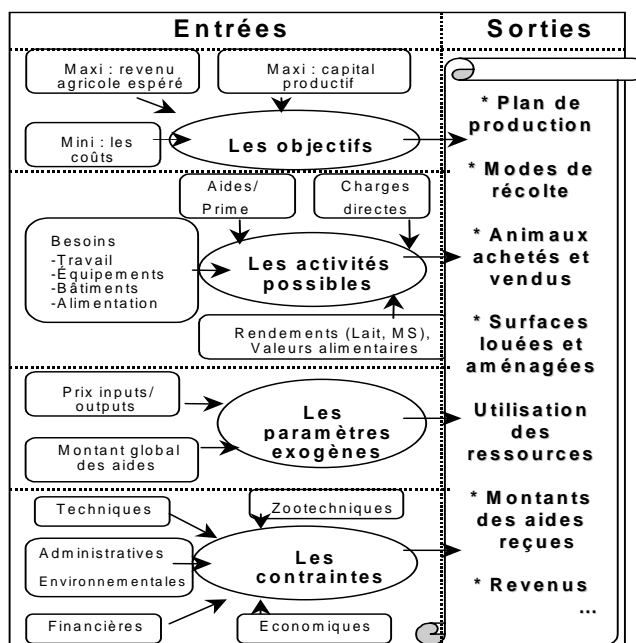


Figure 3. Entrées et sorties du modèle économique

en Recherche agronomique pour le Développement (Grimaud *et al*, 1999 ; Tillard *et al*, 1997), Etablissement Départemental de l'Élevage, Société d'Intérêt Collectif Agricole en Lait, Union des Associations Foncières et Pastorales,...) ainsi que des données issues des fiches technico-économiques des différentes spéculations pratiquées sur les exploitations enquêtées (voir annexe 2).

Par simplification, nous avons considéré deux grandes activités au sein de l'exploitation, la production de lait et de fourrages. Ces deux activités sont extrêmement liées puisque le fourrage sert prioritairement à la production de lait. Les modes d'exploitation des terres sont donc liés aux objectifs propres à l'activité laitière.

1.1 Les activités végétales : production du fourrage

La Zone d'élevage à la Réunion présente un potentiel cultural assez important, notamment dans les cultures fourragères assurées par un climat et un sol volcanique très fertile. Comme l'illustre les travaux de Grimaud et Thomas (2002), les assolements sont essentiellement composés de prairies de graminées (tempérées et tropicales). Ces prairies sont généralement soit fauchées pour fournir des fourrages en vert, de l'ensilage ou du foin, soit pâturées. Le type d'aménagement en fauche ou en pâture d'une prairie dépend de la variété implantée, du mode de conduite des éleveurs mais aussi de la situation géographique de l'exploitation (Blanfort *et al*, 2000). On trouve ainsi : des prairies de fauche-pâture qui peuvent être fauchées et/ou pâturées, des prairies de fauche (fauchées uniquement) et des prairies de pâture (pâturées uniquement).

Une prairie peut être fauchée ou pâturée plusieurs fois dans l'année selon les conditions météorologiques et en fonction des besoins immédiats des animaux, de la qualité des aliments, des stratégies des éleveurs, etc. La durée des prairies temporaires (par opposition à celles qui sont permanentes) dépend bien sûr des variétés implantées, du degré d'entretien, et des modes d'exploitation ou de récolte. Généralement, une prairie de pâture a une durée de vie plus courte qu'une prairie de fauche ou de fauche-pâture, plus entretenues (après chaque coupe) et moins tassées. Il arrive cependant qu'interviennent des facteurs pédologiques ou psycho-économiques : certains éleveurs profitent du système de subvention existant pour réimplanter une prairie de peur que ce système soit supprimé ou que les subventions soient diminuées. La prise en compte de la durée théorique des prairies est trop éloignée des modes de conduite particuliers des éleveurs. Pourtant les coûts élevés de réimplantation des prairies sont importants dans le système global d'élevage. L'ensemble de ces facteurs rend arbitraire toute fixation d'une durée de vie de prairie. Par simplification, on considère qu'à chaque début d'année et selon ses moyens financiers, l'exploitant aura le choix entre le maintien ou le renouvellement (réimplantation) de la prairie (avec la même variété de fourrage ou une autre variété) sachant que les dépenses dans le premier cas, qui seront considérées comme coût de production, sont beaucoup plus faibles que dans le second où elles font partie des investissements. La durée d'amortissement est différente entre les trois types de prairies. Elle est en moyenne de 4 ans pour les prairies de pâture, 6 ans pour celles de fauche-pâture et 8 ans pour celles de fauche.

Pour modéliser l'ensemble de ces spécificités régionales, il a fallu définir chaque activité de production, ACTV, en fonction des éléments suivants :

C : **prairies permanentes** (*p. Kikuyu, p. naturelle, p. association graminées légumineuses herbacées*), **prairies temporaires** (*p. graminée tempérée, p. mixte, p. Chloris, p. brome*) et **cultures** (*c. canne fourragère, c. maïs fourrager, c. canne à sucre*).

Ame : type d'exploitation (*fauche ou pâture*)

P : type de récolte (*pat, vert, ensilage herbe, ensilage maïs, foin, plante entière*)

PC : période ou saison (*p1 : été, p2 : hiver*)

CP : nombre de fauches ou de pâtures par période (*cp1, cp2, cp3, cp4, cp5*)

T : technique de production (*T1 : renouveler, T2 : maintenir*)

Ye : années (*An1, An 2, An 3, An 4, An 5*).

Gf : zones géographiques (*P. Cafres, P. Palmistes, H. Ouest, St. Joseph*).

1.2 Les activités animales : production du lait

Les éleveurs de la Sicalait qui fournissent l'essentiel du lait collecté et auxquels nous nous intéressons sont des éleveurs spécialisés qui font de la production laitière leur métier et de l'augmentation du cheptel et l'amélioration de revenu leur objectif principal. Ils s'opposent ainsi aux systèmes traditionnels qui se caractérisent par une diversification, mêlant les cultures vivrières et quelques bovins exploités pour le lait ou la viande avec un objectif premier de nourrir la famille.

Considéré comme un produit périssable, on suppose qu'il n'existe pas de stockage pour le lait à la différence de l'activité fourragère. De même, grâce au prix assez élevé fixé par la coopérative (CILAM), on suppose que l'autoconsommation et la vente du lait dans le marché informel sont négligeables. Le lait est donc supposé être entièrement vendu à la coopérative.

Les revenus annuels issus de l'activité laitière doivent assurer en priorité la couverture des dépenses minimales d'exploitation : reproduction de l'exploitation et besoin de consommation des ménages, tout en dégagant également un surplus. Ce surplus peut servir à accroître les capacités productives, être épargné (compte tenu du taux de rémunération de l'épargne) ou consommé. L'augmentation et/ou l'amélioration des capacités productives peut se faire de plusieurs façons : accroître le cheptel laitier et la SAU, investir dans un équipement performant de traite ou de travail du sol (stratégie d'accumulation ou de constitution d'un patrimoine), valoriser le capital existant par le recours au travail salarié ou par l'accroissement du nombre de traitements (stratégie de maximisation des plus-values à court terme ou de libération de temps), etc.

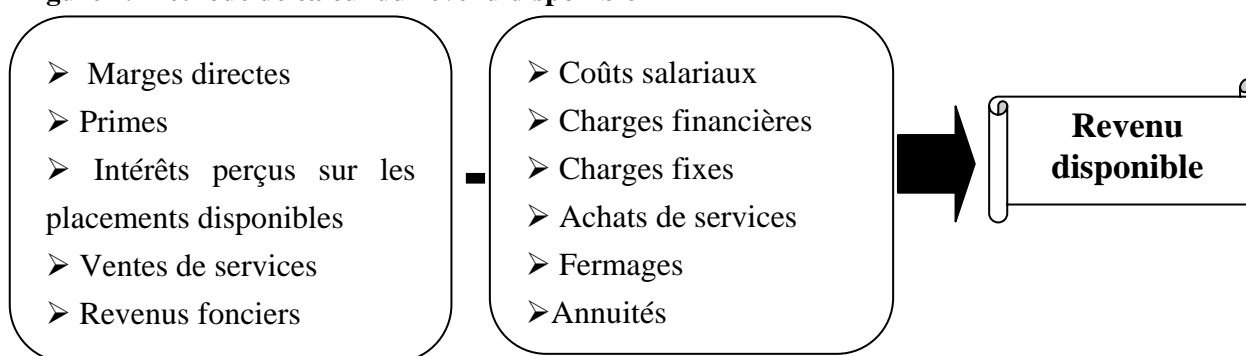
Afin de prendre en compte les spécificités de cette activité dans notre modèle, auxquelles la dimension dynamique et récursive répond parfaitement, nous allons essayer de suivre l'évolution des effectifs animaux et le changement de leur régime alimentaire, année par année, tout en considérant l'année 2000 comme année de référence. Pour cela, les paramètres et les critères techniques régionaux de conduite d'élevage à retenir seront ceux de l'année considérée.

II. Formulation de la fonction objectif et prise en compte du risque

II.1 La fonction objectif sans risque

En modélisation économique, l'identification et la hiérarchisation des objectifs permettent de distinguer un objectif principal des objectifs secondaires, ces derniers étant modélisés sous forme de contraintes. Dans la présente maquette, l'objectif principal retenu est une maximisation du revenu disponible après remboursement des annuités⁷ (figure 4) : il permet de représenter la fonction d'utilité réelle du producteur spécialisé et « rationnel ». Cette hypothèse de rationalité est parfois discutée lorsqu'on l'applique aux agriculteurs. Ils font quelquefois des choix autres que ceux qui, selon la logique de l'analyste (c'est à dire une logique d'optimisation) devraient être faits, d'autres économistes estiment qu'ils sont rationnels, mais que leurs objectifs ne sont pas ceux d'un entrepreneur capitaliste.

Figure 4. Méthode de calcul du revenu disponible



A partir des anticipations sur les prix, les aides futures et les moyens de production disponibles, on suppose que l'agriculteur conduit ses systèmes fourrager et animal sur une saison donnée dans l'objectif de maximiser cette fonction d'utilité sur l'horizon de planification choisi (HP) qui est de cinq ans.

Schéma simplifié du modèle économique dynamique

Ye1 : 2000	Ye2 : 2001	Ye3 : 2002	Ye4 : 2003	Ye5 : 2004

Maximiser :

$$Z_{HP} = \left[\sum_{n=1}^{nf=5} \frac{\overline{Z}_n}{(1 + \tau)^{n-1}} \right] \quad n \in [1...5] : \text{années}$$

Avec :

Z_{HP} : l'objectif à maximiser (somme actualisée du revenu disponible)

\overline{Z}_n : le revenu disponible espéré par période et par an ($REV_{PC,Ye}$)

τ : le taux d'actualisation. Il exprime la préférence du décideur pour le présent par rapport à l'avenir. Le choix de ce taux est assez délicat, il diffère d'un agent à l'autre. Le caractère

⁷ Le revenu disponible après remboursement des annuités comprend le revenu de l'activité agricole (le résultat net de l'exercice majoré des amortissements et diminué des annuités) et celui des prélèvements privés investis dans l'extra agricole ou placés en compte bloqué.

subjectif de ce taux est dû en fait à plusieurs éléments, à savoir : Le rendement attendu de l'argent, le coût de financement, le temps perçu par l'exploitant, l'inflation, les risques liés au projet, etc. L'unique référence au choix de ce taux est le taux d'intérêt à long terme. Ceci correspond aujourd'hui en France à,

- entre 7 et 10% en francs courants et,
- entre 4 et 7% en francs constants.

Pour le présent travail, ce taux est laissé exogène et donc fixé, en fonction du taux d'intérêt réel, à 4% (taux réel en 2000), c'est-à-dire sans tenir compte ni de l'inflation ni de la prime du risque étant donné qu'elles sont incluses dans le modèle.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{Z}_{HP} = & \left[\sum_{Ye1}^{Ye5} \left(\sum_{PC} \text{REV}_{PC,Ye} \right) / (1+\tau)^{\text{ord}(Ye)-1} \right] \\
 \mathbf{REV}_{Gf,PC,Ye} = & \sum_{C,CP,AME,T,PFAU} \left[(\text{VFP}_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} + \text{VFA}_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye}) * \text{PV}_{C,CP,PFAU,PC} \right. \\
 & + \Delta \text{STP}(\text{fin} - \text{ini})_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} * \text{PR}_{C,CP,PFAU,PC} \\
 & + \Delta \text{STA}(\text{fin} - \text{ini})_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} * \text{PA}_{C,CP,PFAU,PC} \\
 & - \text{ACTV}_{Gf,cua,CP,AME,'T1',PFAU,PC,Ye} * \text{CDV}_{Cua,CP,'T1',PC} \\
 & \left. - \text{ACTV}_{Gf,Cup,CP,AME,'T2',PFAU,PC,Ye} * \text{CDV}_{Cup,CP,'T2',PC} \right] \\
 & + \sum_{TBOV,GEN} \left[(\text{PRODLAIT}_{Gf,PC,Ye} * \text{PVL}'_{\text{LAIT}',PC} + \text{V}_{Gf,TBOV,GEN,PC,Ye} * \text{PVA}_{TBOV,GEN} + \right. \\
 & \left. + \Delta \text{STOKA}(\text{fin} - \text{ini})_{Gf,TBOV,GEN,PC,Ye} * \text{PRA}_{C,CP,PFAU,PC} \right] \\
 & - \sum_{TBOV,GEN} \text{ANACHA}_{Gf,TBOV,GEN,PC,Ye} * \text{PAA}_{TBOV,GEN} \\
 & - \sum_{TBOV,GEN} \left[\text{EFF}_{Gf,TBOV,GEN,PC,Ye} * (\text{COA}_{Gf,PC} + \text{CSA}_{Gf,PC}) * \text{COEF}_{TBOV} \right] \\
 & - \sum_{C,CP,PFAU} \left[\text{A}_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} * \text{PA}_{C,CP,PFAU,PC} \right] - \left[\text{QCA}_{Gf,PC,Ye} * \text{PAC} + \text{QMA}_{Gf,PC,Ye} * \right. \\
 & \left. \text{PAM} \right] \\
 & + \sum_{TSM} \left[(\text{HTCED}_{Gf,TSM,PC,Ye} * \text{PLM}_{TSM}) \right] - \sum_{TSM} \left[\text{HTLOU}_{Gf,TSM,PC,Ye} * \text{PLM}_{TSM} \right] \\
 & + \left[(\text{INITLFCED}_{Gf,PC-1,Ye} + \text{TLAFCED}_{Gf,PC,Ye}) * \text{PLTLAF} \right] \\
 & - \left[(\text{INITLAFLOU}_{Gf,PC-1,Ye} + \text{TLAFLOU}_{Gf,PC,Ye}) * \text{PLTLAF} \right] \\
 & + \left[(\text{INITLDCEDE}_{Gf,PC-1,Ye} + \text{TLADCEDE}_{Gf,PC,Ye}) * \text{PLTLAD} \right] \\
 & - \left[(\text{INITLADLOU}_{Gf,PC-1,Ye} + \text{TLADLOU}_{Gf,PC,Ye}) * \text{PLTLAD} \right] \\
 & + \left[(\text{MOCED}_{Gf,PC,Ye} * \text{SLR}) \right] - \left[\text{MOLOU}_{Gf,PC,A} * \text{SLR} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - [NMP_{Gf} * CUP_{PC} + CF_{Gf,PC}] + [INTOTR_{Gf,PC,Ye} - INTOTP_{Gf,PC,Ye}] \\
& - \sum_{TSM} [ENMAT_{TSM} * NBHT_{TSM,PC} * DISMAT_{Gf,TSM,PC,Ye}] - [ENBAT * DISBAT_{Gf,PC,Ye}] \\
& + [AIDE9_{Gf,PC,Ye}] + [AIDE6_{Gf,PC,Ye}] + [PRIME_{Gf,PC,Ye}] + [TVANP_{Gf,PC,Ye}] \\
& + [INTCB_{Gf,PC,Ye}] - [ADLT_{Gf,PC,Ye}]
\end{aligned}$$

*ACTV_{Gf,C,CP,AME,T,PFAU,PC,Ye} : les activités végétales

*VFP_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} : quantité du fourrage produite et vendue.

*VFA_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} : quantité du fourrage achetée puis vendue.

*ΔSTP(fin - ini)_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} : variation du stock du fourrage produit

*ΔSTA(fin - ini)_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} : variation du stock du fourrage acheté

*PV_{C,CP,PFAU,PC}⁸ : prix de vente anticipés des produits végétaux par période et selon le nombre de coupes (en francs par tonne de matière sèche).

*PR_{C,CP,PFAU,PC} : prix de revient anticipés des produits végétaux par période et selon le nombre de coupes.

$$PR_{C,CP,PFAU,P}^9 = 0.8 * PV_{C,CP,PFAU,P}$$

*E(Y_{Gf,C,CP,T,PFAU,PC,N}) : espérance des rendements en tonne de matière sèche (tMS) par activité sur les états de la nature.

*CDV_{C,CP,T2,PC} : charges directes par culture selon le nombre de coupes et par

période (cup : cultures pluriannuelles, cua : culture annuelles)

*A_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} : quantité des produits achetés (en tonnes de matière sèche)

*PA_{C,CP,PFAU,PC} : prix d'achat anticipés des produits végétaux par période et selon le nombre de coupes.

$$PA^{10}_{C,CP,PFAU,PC} = 1.10 * PV_{C,CP,PFAU,PC}$$

*V_{Gf,TBOV,GEN,PC,YE} : nombre d'animaux vendus par catégorie, par période et par an.

*COEF_{TBOV} : coefficient pour chargement technique (UGB) toutes catégories comprises

*EFF_{Gf,TBOV,GEN,PC,Ye} : effectif des animaux par catégorie, par période et par an.

*PVA_{TBOV,GEN} : prix de vente anticipés des animaux par catégorie.

$$(PVA_{TBOV,GEN} = PAA_{TBOV,GEN} * 0.9)$$

*ANACHA_{Gf,TBOV,GEN,PC,Ye} : le nombre d'animaux achetés par catégories, par période et par an

*PAA_{TBOV,GEN} : prix d'achat des animaux avec prise en compte de la subvention de l'article 4 pour les génisses et les vaches importées.

⁸ Les prix des produits animaux et fourragers utilisés dans l'optimisation pour l'année de référence 2000 sont ceux observés pendant l'année précédente (1999). La prise en compte des changements de prix dans les simulations nécessite l'élaboration d'hypothèses sur leur évolution future (hypothèses réalisées avec la Sicalait). Ces prix resteront toujours exogènes même dans le modèle agrégé car la plupart sont administrés.

⁹ Le prix de revient est estimé à 80% du prix de vente anticipé.

¹⁰ Le coût de transaction des produits est estimé à 10%. Celui des facteurs de production est de 5%.

* $PRODLAIT_{Gf,PC,Ye}$: production du lait par période et par an.

* $\Delta STOKA(fin - ini)_{Gf,TBOV,GEN,PC,YE}$: variation d'inventaire pour les animaux.

* $PRA_{TBOV,GEN}$: prix de revient anticipés des animaux par catégorie.

* $COA_{Gf,PC}$: charges directes par UGB et par période.

* $CSA_{Gf,PC}$: charges de structure par UGB et par période.

* $QCA_{Gf,PC,Ye}$: quantité de concentré acheté par période et par an.

* PAC : prix d'achat anticipés du concentré.

* $QMA_{Gf,PC,Ye}$: quantité de minéraux achetés par période et par an.

* PAM : prix d'achat anticipés des minéraux

* NMP_{Gf} : effectif de main d'œuvre permanente et salariée disponible.

* CUP_{PC} : salaire et charges salariales de la main d'œuvre permanente par période.

* $CF_{Gf,PC}$: coût fixe par période (assurance, impôt, élect., tél.,...)

* $TLAFLOU_{Gf,PC,Ye}$: nombre d'hectares facilement labourables¹¹ loués (repris en fermage) par an.

* $TLADLOU_{Gf,PC,Ye}$: nombre d'hectares difficilement labourables loués (repris en fermage) par an.

* $TLAFCEDE_{Gf,PC,Ye}$: nombre d'hectares facilement labourables cédés en location par période et par an.

* $TLADCEDE_{Gf,PC,Ye}$: nombre d'hectares difficilement labourables cédés en location par période et par an.

* $HTCED_{Gf,TSM,PC,Ye}$: nombre d'heures de traction mécanisée cédée en location par catégorie d'opération par période et par an.

* $HTLOU_{Gf,TSM,PC,Ye}$: nombre d'heures de traction mécanisée louée par catégorie d'opération (travail du sol et récolte) par période et par an.

* $MOCED_{Gf,PC,Ye}$: nombre d'heures de main d'œuvre saisonnière cédée en location à l'extérieur par période et par an.

* $MOLOU_{PC,Ye}$: nombre d'heures de main d'œuvre saisonnière louée de l'extérieur par période et par an.

* $PLTLAF$: prix de location moyen de la terre facilement labourable.

* $PLTLAD$: prix de location moyen de la terre difficilement labourable.

* PLM_{TSM} : prix horaire de location du matériel par catégorie d'opération.

* SLR : prix horaire moyen de la main d'œuvre saisonnière.

* $INTOTP_{Gf,PC,Ye}$: intérêts payés par période et par an.

* $INTOTR_{Gf,PC,Ye}$: intérêts perçus sur le placement disponible.

* $ENBAT$: charge d'entretien des bâtiments

¹¹ La notion de terre labourable, dans le contexte réunionnais, signifie plutôt terre mécanisable.

*DISMAT_{Gf,PC,Ye} : bâtiment disponible par période et par an (en m²)

*ENMAT_{TSM}: charge horaire matérielle (entretien, réparation et carburant) par catégorie d'opération

*DISMAT_{Gf,TSM,PC,Ye} : matériel disponible par période et par an

*NBHT_{TSM,PC} : durée d'utilisation possible du matériel par période et par an

*INITLAFLOU_{Gf,PC,Ye} : cumul sur l'ensemble des périodes écoulées des hectares facilement labourables en fermage ;

*INITLAFCEDE_{Gf,PC,Ye} : cumul sur l'ensemble des périodes écoulées des hectares facilement labourables donnés en location ;

*INITLADLOU_{Gf,PC,Ye} : cumul sur l'ensemble des périodes écoulées des hectares difficilement labourables en fermage ;

*INITLADCEDE_{Gf,PC,Ye} : cumul sur l'ensemble des périodes écoulées des hectares difficilement labourables donnés en location

BILAN 1 (B1) : le bilan de la production végétale espérée

Contrairement au lait qui est entièrement vendu à la coopérative, le fourrage peut être auto-consommé, stocké ou vendu en fonction de son prix et du prix du lait sur le marché. Le stockage du fourrage a bien sûr des coûts (perte nutritive, entretien du bâtiment de stockage) mais fournit une sécurité pour les saisons qui suivent et constitue un produit potentiel qui sera évalué au prix de revient. Ces dernières années, la vente de fourrages est apparue comme une source de revenu très lucrative en raison de l'augmentation de la demande en fourrages par les exploitants laitiers s'installant sur des espaces restreints.

* Production végétale (Récolte en tMS) = consommation pour bétail + vente + variation de stock

*AIDE6_{Gf,PC,Ye} : le montant de l'aide de l'article 6 par période et par an.

$$AIDE6 = \sum_{TBOV,GEN} PRODLAIT_{Gf,PC,Ye} * 0.55$$

*AIDE9_{Gf,PC,Ye} : le montant de l'aide forfaitaire de l'article 9 bis par période et par an. AIDE9_{Gf,PC,Ye} =

$$(Q * Ct * Nv * Cp * V / 2) * EFF_{Gf,VL',GEN,PC,Ye}$$

Q : note qualitative attribuée à chaque exploitation ; Ct : coefficient de taille ; Cpp : coefficient de productivité ; V : valeur du point.

*PRIME_{Gf,PC,Ye} : le montant des primes par période et par an (conservation de génisses, détaxe gasoil, ICHN et PDL) .

* TVANP_{Gf,PC,Ye} : TVA non perçu par période et par an.

* INTCB_{Gf,PC,Ye} : intérêts perçus sur le placement bloqué.

* ADLT_{Gf,PC,Ye} : annuité de remboursement emprunts à long terme par période et par an

$$B1 : \sum_T ACTV_{Gf,C,CP,AME,T,PFAU,PC,Ye} * E(Y_{Gf,C,CP,T,PFAU,PC,N}) = CONSP_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} + VFP_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} + \Delta STP(fin - ini)_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye}$$

* $E(Y_{Gf,C,S,SO,T,P,N})$: espérance des rendements en tMS par activité sur les états de la nature

$$E(Y_{Gf,C,S,SO,T,P,N}) = \sum_N (Y_{Gf,C,S,SO,T,P,N} * PROB_N)$$

* $CONSP_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye}$: quantité produite est consommée par le bétail (cession interne).

BILAN 2 (B2) : le bilan des produits fourragers achetés

Au même titre que la production, l'achat du fourrage est destiné généralement à la consommation du bétail. Il peut être également stocké pour une utilisation ultérieure ou vendu en fonction de son prix.

$$B2 : A_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} = CONSFA_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} + VFA_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} + \Delta STA(fin - ini)_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye}$$

Marge directe : la différence entre les recettes totales, provenant des ventes, des stocks et des aides, et les charges directes¹² (charges directes des cultures et/ou prairies pluriannuelles en cas du maintien¹³ (cup: les prairies et les cannes), des cultures annuelles (cua: maïs fourragers) et d'élevage) représente ce que l'on appelle généralement la marge directe. Elle est calculée par hectare pour chaque culture et par catégorie d'animaux pour chaque race. Autre que l'achat d'animaux, cette marge comprend les charges d'approvisionnements en fertilisants, en semence et en produits phytosanitaires pour les cultures annuelles, les charges d'entretiens (fertilisants et produits phytosanitaires) pour les cultures et/ou prairies pluriannuelles et les coûts d'aliments achetés et consommés, de reproduction, de soins vétérinaires, d'assurance et de cotisation pour l'élevage.

$$\begin{aligned} * \text{La marge directe} &= \sum_{C,CP,PFAU} [(VFP_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} + VFA_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye}) * PV_{C,CP,PFAU,PC} \\ &+ \Delta STP(fin - ini)_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} * PR_{C,CP,PFAU,PC} \\ &+ \Delta STA(fin - ini)_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} * PA_{C,CP,PFAU,PC} \\ &- \sum_{Cua,CP,AME,PFAU} ACTV_{Gf,cua,CP,AME,'T1',PFAU,PC,Ye} * CDV_{Cua,CP,'T1',PC} \\ &- \sum_{Cup,CP,AME,T,PFAU} ACTV_{Gf,Cup,CP,AME,'T2',PFAU,PC,Ye} * CDV_{Cup,CP,'T2',PC}] \\ &+ \sum_{TBOV,GEN} [(PRODLAIT_{Gf,PC,Ye} * PVL_{LAIT',PC} + V_{Gf,TBOV,GEN,PC,YE} * PVA_{TBOV,GEN} + \end{aligned}$$

¹² Les prix d'intrants utilisés dans le calcul des charges directes pour l'année de référence 2000 sont ceux observés pendant l'année précédente. La prise en compte des changements de prix dans les simulations nécessite l'élaboration d'hypothèses, avec les techniciens de la SICA LAIT, sur leur évolution future.

¹³ Le renouvellement des prairies et de la canne étant considéré comme un investissement, ses coûts ne font pas partie des charges de production.

$$\begin{aligned}
& - \sum_{TBOV,GEN} ANACHA_{Gf,TBOV,GEN,PC,Ye} * PAA_{TBOV,GEN} \\
& + \Delta STOKA(fin - ini)_{Gf,TBOV,GEN,PC,Ye} * PRA_{C,CP,PFAU,PC} \\
& - \sum_{TBOV,GEN} EFF_{Gf,TBOV,GEN,PC,Ye} * (COA_{Gf,PC} + CSA_{Gf,PC}) * COEF_{TBOV} \\
& - \sum_{C,CP,PFAU} [A_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} * PA_{C,CP,PFAU,PC}] - [QCA_{Gf,PC,Ye} * PAC + QMA_{Gf,PC,Ye} * PAM \\
&] \\
& + [AIDE9_{Gf,PC,Ye}] + [AIDE6_{Gf,PC,Ye}]
\end{aligned}$$

Les primes¹⁴ : appelées aussi subventions d'exploitation. Elles englobent l'aide à la conservation de génisses (CGENIS), la détaxe gasoil (DGAZ), l'indemnité compensatoire des handicaps naturels (ICHN) et le plan de développement laitier (PDL). Ces primes qui sont optimisées par le modèle influencent fortement les choix techniques et stratégiques des éleveurs et leurs éventuelles réformes risquent de mettre en cause la viabilité et la compétitivité future des exploitations.

$$PRIME_{Gf,PC,Ye} = PDL_{Gf,PC,Ye} + ICHN_{Gf,PC,Ye} + DGAZ_{Gf,PC,Ye} + CGENIS_{Gf,PC,Ye}$$

Les ventes de services : le modèle optimise le nombre d'heures en main d'œuvre et en traction mécanisée qui peuvent être vendues à l'extérieur en cas de non-besoin au sein de l'exploitation. Ce nombre d'heures pondéré par le prix horaire de la main d'œuvre saisonnière et de la location du matériel donne le montant total de ces ventes (ces prix horaires sont exogènes).

$$* \text{Les ventes de services} = \sum_{TSM} [HTCED_{Gf,TSM,PC,Ye} * PLM_{TSM}] + [MOCED_{Gf,PC,Ye} * SLR]$$

Les intérêts perçus sur les placements : ce sont les revenus issus des placements. Ils constituent des variables endogènes qui sont optimisées par le modèle qui indique le montant et le moment propices pour effectuer ces placements. Par contre, les taux de placements sont des données exogènes. Deux types de placements ont été pris en compte dans notre modèle. Un premier placement à 2% où la somme d'argent placée sur une période donnée est toujours disponible et peut être réintroduite dans l'exploitation en cas de besoins de trésorerie ou d'investissement agricole. Un second placement à 6% où la somme prélevée sera déposée dans un compte bloqué et ne reviendra plus sur l'exploitation. Inspiré de la réalité, le choix de ce second type de placement a pour objectif, d'une part, de prendre en compte l'investissement extra agricole et d'autre part, d'éviter l'accumulation du capital dans les exploitations.

$$INTOTR_{Gf,PC,Ye} = CUMEPA_{Gf,PC,Ye} * PLA1 * (NBRJ_{PC}/365)$$

$$INTCB_{Gf,PC,Ye} = CUMEPABL_{Gf,PC,Ye} * PLA2 * (NBRJ_{PC}/365)$$

* $INTOTR_{Gf,PC,Ye}$: intérêts perçus sur le placement à 2%

¹⁴ Les équations de calcul de ces primes sont détaillées dans la partie consacrée aux contraintes réglementaires.

- * PLA1 : taux de placement à 2%
- * CUMEPAGf,PC,Ye : montant de placement disponible cumulé par période et par an

$$\text{CUMEPAGf,'P1',Ye} = \text{EPAGf,'P1',Ye}$$

$$\text{CUMEPAGf,'P2',Ye} = \text{EPAGf,'P1',Ye} + \text{EPAGf,'P2',Ye}$$
- * EPAGf,PC,Ye : montant placé à 2% par période et par an
- * INTCBGf,PC,Ye : intérêts perçus sur le placement à 6%
- * CUMEPABLGf,PC,Ye : montant de placement bloqué cumulé par période et par an

$$\text{CUMEPABLGf,'P1',Ye} = \text{EPABLGf,'P1',Ye} + \text{CUMEPABLGf,'P2',Ye-1}$$

$$\text{CUMEPABLGf,'P2',Ye} = \text{EPABLGf,'P2',Ye} + \text{CUMEPABLGf,'P1',Ye}$$
- * EPABLGf,PC,Ye : montant placé à 6% par période et par an
- * PLA2 : taux de placement à 6%
- * NBRJPC : nombre de jours dans la période

Les revenus fonciers : ces revenus proviennent des terres en propriété données en location à d'autres agents économiques. Ils dépendent du nombre d'hectares cédés optimisés par le modèle et du prix de fermage qui est un paramètre exogène.

Les nouveaux hectares donnés en location au cours de la période s'ajoutent aux hectares supplémentaires des périodes précédentes, ce qui permet de calculer le revenu foncier total par période.

$$\begin{aligned} \text{* Les revenus fonciers} &= [(\text{INITLFCEDEGf,PC,-1Ye} + \text{TLAFCEDEGf,PC,Ye}) * \text{PLTLAF}] \\ &+ [(\text{INITLDCEDEGf,PC,-1Ye} + \text{TLADCEDEGf,PC,Ye}) * \text{PLTLAD}] \end{aligned}$$

Les coûts salariaux : Ils sont exprimés par période et dépendent du nombre d'heures de travail et de leur coût horaire. Les heures de travail saisonnier sont optimisées par le modèle compte tenu des disponibilités en main d'œuvre permanente de l'exploitation (famille et salariés). Ce nombre d'heures saisonnières, pondéré par le prix horaire de la main d'œuvre saisonnière, donne le montant des coûts salariaux saisonniers. Ajoutée à ces coûts, la rémunération de la main d'œuvre salariale permanente, qui est considérée comme un coût exogène fixe, nous donne le montant total des coûts salariaux.

$$\text{* Les coûts salariaux} = [\text{NMPGf} * \text{CUPPC}] + [\text{MOLOUGf,PC,Ye} * \text{SLR}]$$

Les charges financières : Elles proviennent des emprunts à court terme¹⁵ réalisés à un taux d'intérêt annuel moyen de 8.1%, des intérêts relatifs à la dette à long terme initiale qui est supposée

¹⁵ Les équations de calcul des emprunts à court terme sont détaillées dans la partie consacrée aux contraintes financières.

remboursable sur une durée Dr_{Gf} et à un taux d'intérêt de 4.8% mais aussi des intérêts versés relatifs à l'encours à long terme obtenus au cours de l'horizon de planification. Cet encours est supposé remboursable sur un certain nombre d'années (E) et à un taux identique au précédent (4.8%). Le montant de ces intérêts par période et par année dépendra de la somme de la dette qui reste à payer à la fin de celles-ci. Ce sont des variables endogènes dont le montant et les dates de réalisation sont optimisées par le modèle.

$$INTOTPC_{PC,Ye} = [(CUMECT_{Gf,PC,Ye} * TCT) + (DLT_{Gf,PC,Ye} * TLT)] *(NBRJ_{PC}/365)$$

* TCT : taux d'intérêt à court terme.

* TLT : taux d'intérêt à long terme.

* $DLT_{Gf,PC,Ye}$: dette à long terme restante à la fin de chaque période et chaque année (y compris le montant de la dette initiale)

* $CUMECT_{Gf,PC,Ye}$: cumul des emprunts à court terme par période et par an

$$CUMECT_{Gf,PC,Ye} = EMPCT_{Gf,PC,Ye} + CUMECT_{Gf,PC-1,Ye} - REMBCT_{Gf,PC-1,Ye}$$

$$CUMECT_{Gf,'P1','An1'} = EMPCTi_{Gf} + EMPCT_{Gf,'P1','An1'}$$

* $EMPCTi_{Gf}$: montant emprunté à court terme initial (début de l'horizon de planification)

* $EMPCT_{Gf,PC,Ye}$: montant emprunté à court terme par période et par an

* $REMBCT_{Gf,PC,Ye}$: remboursement périodique des emprunts à court terme

$$REMBCT_{Gf,'P1','An1'} = EMPCTi_{Gf} ; \quad REMBCT_{Gf,PC,Ye} = EMPCT_{Gf,PC-1,Ye}$$

Les charges fixes : il s'agit des frais généraux (assurance, impôts, taxes, électricité..) ainsi que des charges d'entretien de bâtiments d'élevages, du matériel et du capital mobilier investi dans l'exploitation. Ces charges influencent les résultats futurs par le biais de la récursivité du montant de la trésorerie d'une année à l'autre, et par les coûts d'entretien des nouveaux investissements en bâtiment et en matériel.

* Les charges fixes = [$CF_{Gf,PC}$] + [$ENBAT * DISBAT_{Gf,PC,Ye}$]

$$+ \sum_{TSM} [ENMAT_{TSM} * NBHT_{TSM,PC} * DISMAT_{Gf,TSM,PC,Ye}]$$

Les achats de services : le modèle optimise les besoins en heures supplémentaires pour les opérations mécaniques de travail de sol, de fertilisation, de récolte, etc. Ce nombre d'heures pondéré par le prix horaire de la location du matériel donne le montant total de ces achats.

$$* \text{ Les achats de services} = \sum_{TSM} [HTLOU_{Gf,TSM,PC,Ye} * PLM_{TSM}]$$

Le fermage : l'extension foncière en élevage laitier à la Réunion passe généralement par la location puisque l'achat est négligeable et le métayage¹⁶ est inexistant. Les hectares supplémentaires que l'éleveur désire donc mettre en prairie pour optimiser son revenu, multipliés par le prix du fermage correspondent à cette charge de structure.

Les nouveaux hectares loués au cours de la période s'ajoutent aux hectares supplémentaires des périodes précédentes et permettent de calculer la charge totale de fermage. Ces hectares supplémentaires sont optimisés par le modèle.

L'introduction de l'hypothèse d'accumulation des terres s'explique par le fait que l'extension des exploitations se fait généralement par la location des terres domaniales, gérées par l'Office National des Forêts (ONF), sur une longue période allant de 9 à 25 ans.

$$* \text{ Le fermage} = [(INITLAFLOU_{Gf,PC-1,Ye} + TLAFLLOU_{Gf,PC,Ye}) * PLTLAF]$$

$$+ [(INITLADLOU_{Gf,PC-1,Ye} + TLADLOU_{Gf,PC,Ye}) * PLTLAD]$$

II.2 La fonction objectif avec risque

Le risque ou l'incertitude joue un rôle capital dans la prise de décision du producteur, il modifie profondément le comportement du sujet économique. Comme l'indiquent Hazell et Norton (1986), « ignorer le comportement d'aversion au risque dans les modèles d'exploitations amène souvent à des résultats qui sont inacceptables pour l'exploitant ou qui ont très peu de relations avec les décisions que le producteur prendra ».

En agriculture, le risque est omniprésent : risque climatique, risque technique et risque économique se combinent ou se juxtaposent et expliquent bien souvent les écarts entre décision optimale et décision réelle. Plusieurs modèles de risque ont été ainsi développés : *Safety first*, Target MOTAD, stochastique discret, espérance – variance, espérance - écart type, MOTAD (voir Hazell et Norton, 1986).

Pour notre travail, nous avons retenu la méthode classique Target Motad formulée par Tauer (1983), qu'il présente comme la plus simple d'utilisation, plus proche du système de pensée de l'agriculteur et donnant des solutions dominantes au premier et second degrés de stochasticité. Cette méthode, dont la formalisation mathématique a l'avantage de maintenir la linéarité, suppose que l'agriculteur maximise son revenu espéré sous contrainte de ne pas dépasser un minimum de déviations par rapport à l'objectif de revenu Z_0 qu'il définit à l'avance. Elle consiste donc à maximiser non plus la somme actualisée du revenu disponible mais plutôt une fonction d'utilité espérée U_{HP} ¹⁷ qui est définie comme une combinaison linéaire du risque et du revenu disponible.

¹⁶ Le métayage est un mode de faire valoir d'une propriété foncière par lequel le propriétaire cède l'usage de sa terre à un métayer moyennant une rétribution représentant une part (en général un tiers) des produits de l'exploitation (Larousse agricole, 1981).

¹⁷ L'utilité espérée à maximiser par cette méthode essaye de se rapprocher de celle définie dans le modèle de Savage en 1954, comme celle définie dans la théorie plus générale de l'utilité espérée de Neumann (1944) dans laquelle il s'insère, et qui mesure la satisfaction que le décideur peut légitimement associer à chaque conséquence possible compte tenu des probabilités attachées aux faits incertains (Schmidt., 1995).

$$\mathbf{Max} : U_{HP} = \left[\sum_{n=1}^{nf=5} \frac{\bar{Z}_n - \phi \lambda_n}{(1 + \tau)^{n-1}} \right] \quad n \in [1 \dots 5] : \text{années}$$

Avec:

λ_n : la somme des écarts négatifs ;

ϕ : Coefficient d'aversion au risque ;

U_{HP} : utilité espérée.

Le coefficient d'aversion au risque (ϕ) peut s'interpréter comme le taux de substitution ou d'arbitrage entre revenu espéré et la somme des écarts négatifs (λ_n). Il varie selon l'attitude des agriculteurs : il est plus fort en cas d'aversion pour le risque et moins fort en cas d'une attitude plus « preneuse » de risque. Il est généralement calibré l'année de base et reste inchangé au cours des simulations.

Le niveau de risque (λ_n), qui est calculé d'une façon endogène, correspond à la somme sur les différents états de la nature v (conditions climatiques, niveaux des primes et des prix) des écarts négatifs à l'objectif de revenu Z_0 fixé par les producteurs :

$$Z_0 - \bar{Z}_n - Z_{n,v}^- \leq 0 \quad \lambda_n = \sum_v P_v Z_{n,v}^-$$

Avec:

- $Z_{n,v}^-$: l'écart négatif à l'objectif de revenu Z_0 du scénario v
- Z_0 : l'objectif de revenu que se fixe l'agriculteur
- v : scénario aléatoire (dans notre modèle défini par la variabilité des rendements des cultures et d'anticipations sur la variabilité des prix et des primes)
- P_v : la probabilité d'occurrence du scénario v
- λ_n : la somme des écarts négatifs

III. Formulation des contraintes de multipériodicité et de récursivité

Comme nous l'avons déjà défini, le terme multipériodique signifie qu'on définit une situation initiale de référence et on choisit des plans de production pour les années à venir, appelé horizon de planification, en tenant compte de toute l'information disponible sur le futur, à savoir les anticipations sur les prix, les primes et les rendements. Le critère de choix de la longueur de l'horizon de planification, qui est de cinq années, est lié ici au type de production dont le processus s'étale dans le temps¹⁸.

La dimension récursive implique que les résultats d'une année sont influencés par ceux des années précédentes. Ceci concerne essentiellement les ressources en biens intermédiaires (terre, matériel, bâtiment...), l'effectif animal et la trésorerie. Les ressources en biens intermédiaires disponibles l'année t dépendent directement des ressources qui étaient disponibles l'année $t-1$. De même, la

¹⁸ Une génisse entre en production à partir de la troisième année tandis que le renouvellement des vaches de réforme s'établit au-delà de cinq ans d'âge.

trésorerie disponible l'année t dépend du revenu réalisé l'année précédente et des prélèvements réalisés par l'agriculteur pour sa propre consommation ou pour l'investissement extra agricole.

La formulation de ces types de contraintes de programmation consiste à écrire toutes les relations qui limitent le choix des valeurs possibles des variables de décision. Cette formulation traduit la concurrence qui existe entre plusieurs activités ou variables pour l'emploi d'une ressource limitée, ainsi que l'influence du choix d'un certain plan de production d'une année sur l'année qui suit.

III.1 Contraintes liées aux facteurs de production

III.1.1 Facteur terre : contrainte occupation du sol

Avec cette contrainte, notre objectif est de limiter, pour chaque période, la somme des superficies consacrées aux différentes activités de production à une superficie inférieure ou égale à la disponibilité en terre labourable sur l'exploitation pendant la période précédente, majorée des hectares supplémentaires repris en fermage et des terres en friche¹⁹ aménagées et diminuée des terres cédées en location²⁰.

$$\sum_{C,CP,AME,T,PFAU} ACTV_{Gf,C,CP,AME,T,PFAU,PC,Ye} \leq TLAB_{Gf,PC,Ye}$$

Avec : $TLAB_{Gf,PC,Ye} = TLAB_{Gf,PC-1,Ye} + TFAMEP_{Gf,PC,Ye} + TFAMEF_{Gf,PC,Ye} + TLABLOU_{Gf,PC,Ye} - TLABCEDE_{Gf,PC,Ye}$

$$TLAB_{Gf,'P1','An1'} = TLABi_{Gf}$$

- * $TLABLOU_{Gf,PC,Ye}$: surfaces labourables louées (repris en fermage),
- * $TLABCEDE_{Gf,PC,Ye}$: surfaces labourables cédées en location.
- * $TFAMEP_{Gf,PC,Ye}$: terres en friche aménagées pour des prairies de pâture uniquement.
- * $TFAMEF_{Gf,PC,Ye}$: terres en friche aménagées pour des prairies de fauche et/ou pâture.
- * $TLAB_{Gf,PC,Ye}$: surfaces labourables en cultures et prairies par période et par an,
- * $TLABi_{Gf}$: surfaces labourables initiales (début de l'horizon)

Les terres labourables sont formées par les terres facilement labourables consacrées aux cultures nécessitant un retournement temporaire du sol et aux prairies permanentes accessibles en fauche et en pâture ($TLAF_{Gf,PC,Ye}$) et par les terres difficilement labourables consacrées généralement aux prairies permanentes accessibles uniquement en pâture et dont l'aménagement nécessite de lourdes dépenses ($TLAD_{Gf,PC,Ye}$).

$$TLAB_{Gf,PC,Ye} = TLAF_{Gf,PC,Ye} + TLAD_{Gf,PC,Ye}$$

$$TLABLOU_{Gf,PC,Ye} = TLAFLOU_{Gf,PC,Ye} + TLADLOU_{Gf,PC,Ye}$$

¹⁹ La notion des terres en friche utilisée ici désigne les terres qui sont difficiles d'accès et donc inutilisables ni l'alimentation ou en tant qu'aires d'exercice, mais qui une fois aménagées peuvent l'être facilement. Donc, on suppose qu'il n'y a location des terres en friche que lorsqu'elles sont aménagées.

²⁰ La vente et l'achat des terres sont négligeables à la Réunion et donc ils ne sont pas pris en compte dans la modélisation.

$$TLABCEDE_{Gf,PC,Ye} = TLAFCEDE_{Gf,PC,Ye} + TLADCEDE_{Gf,PC,Ye}$$

Dans certaines zones, les prairies permanentes (hors prairies naturelles), peuvent être soit fauchées soit pâturées et font partie des terres facilement labourables. Dans d'autres zones plus difficiles, elles ne peuvent être que pâturées et elles font alors partie des terres difficilement labourables. Les prairies naturelles sont toujours considérées comme des terres difficilement labourables quelle que soit la zone.

Zones faciles (Gff):

$$* TLAF_{Gff,PC,Ye} = \sum_{Ctp,CP,T,PFAU} ACTV_{Gff,'Ctp+cua',CP,AME,T,PFAU,PC,Ye} +$$

$$ACTV_{Gff,'pp',CP,AME,T,PFAU,PC,Ye}$$

$$* TLAD_{Gff,PC,Ye} = \sum_{C,CP,T,PFAU} ACTV_{Gff,'pnatu',CP,'PATURE',T,PFAU,PC,Ye}$$

Zones difficiles (Gfd):

$$* TLAF_{Gfd,PC,Ye} = \sum_{Ctp,CP,T,PFAU} ACTV_{Gfd,'Ctp+cua',CP,AME,T,PFAU,PC,Ye}$$

$$* TLAD_{Gfd,PC,Ye} = \sum_{C,CP,T,PFAU} ACTV_{Gfd,'praip',CP,'PATURE',T,PFAU,PC,Ye}$$

Avec $praip = pp + pnaturelle$

Praip : prairies permanentes

Pp : prairies permanentes hors prairie naturelle

Pnaturelle : prairie naturelle.

Ctp : prairies temporaires + canne à sucre + canne fourragère

Cua : cultures annuelles

Sachant que :

- la superficie des terres facilement labourables, pour chaque période, est égale à celle de la période précédente majorée des hectares supplémentaires repris en fermage et des terres en friche aménagées pour fauche et/ou pâture et diminuée des terres facilement labourables cédées en location.

$$TLAF_{Gf,PC,Ye} = TLAF_{Gf,PC-1,Ye} + TFAMEF_{Gf,PC,Ye} + TLAFLOU_{Gf,PC,Ye} - TLAFCEDE_{Gf,PC,Ye}$$

$$TLAF_{Gf,'P1','An1'} = TLAFi_{Gf} + TFAMEFi_{Gf}$$

- la superficie des terres difficilement labourables, pour chaque période, est égale à celle de la période précédente majorée des hectares supplémentaires repris en fermage et des terres en friche aménagées uniquement pour pâture et diminuée des terres difficilement labourables cédées en location.

$$TLAD_{Gf,PC,Ye} = TLAD_{Gf,PC-1,Ye} + TFAMEP_{Gf,PC,Ye} + TLADLOU_{Gf,PC,Ye} - TLADCEDE_{Gf,PC,Ye}$$

$$TLAD_{Gf,'P1','An1'} = TLADi_{Gf} + TFAMEPi_{Gf}$$

- la somme, pour chaque période, des terres labourables et des terres en friche non aménagées donne

la disponibilité totale en terre sur l'exploitation.

$$TLAB_{Gf,PC,Ye} + TFRICH_{Gf,PC,Ye} \leq TTOT_{Gf,PC,Ye}$$

* $TFRICH_{Gf,PC,Ye}$: surfaces en friche non aménagées,

* $TTOT_{Gf,PC,Ye}$: surfaces totales disponibles.

• Les hectares labourables cédés en location ne peuvent être prélevés que sur le foncier en propriété :

$$TLAFCEDE_{Gf,PC,Ye} \leq PROPLF_{Gf,PC,Ye}$$

$$TLADCEDE_{Gf,PC,Ye} \leq PROPLD_{Gf,PC,Ye}$$

$$PROPLF_{Gf,PC,Ye} = PROPLF_{Gf,PC-1,Ye} + TFAMEF_{Gf,PC,Ye}$$

$$PROPLD_{Gf,PC,Ye} = PROPLD_{Gf,PC-1,Ye} + TFAMEP_{Gf,PC,Ye}$$

* $PROPLF_{Gf,PC,Ye}$: hectares facilement labourables en propriété.

* $PROPLD_{Gf,PC,Ye}$: hectares difficilement labourables en propriété.

III.1.2 Facteur travail : contrainte de main d'œuvre

Du fait du caractère saisonnier de l'activité agricole, cette contrainte doit s'écrire non seulement pour chaque type de travail, mais aussi pour chaque période de l'année susceptible de devenir un goulot d'étranglement pour l'utilisation de cet input. Ceci entraîne de nombreuses conséquences pour l'évaluation du coût d'opportunité des inputs agricoles (Boussard, 1987).

Le secteur de l'élevage à la Réunion est plutôt représentatif d'une situation d'offre de main d'œuvre inélastique, malgré un taux de chômage de 37%. Ceci s'explique par, d'une part, la situation géographique ultra-périphérique de l'île et d'autre part, par la spécificité du secteur qui nécessite plutôt une main d'œuvre permanente et qualifiée. La contrainte de la main d'œuvre sera donc très active puisque l'offre régionale est pratiquement limitée.

Pour formuler cette contrainte, nous avons supposé que, pour chaque période, la somme des besoins en main d'œuvre de chaque activité ne devrait pas dépasser les ressources en main d'œuvre disponibles pendant cette période aidées par des employés saisonniers si besoin, et ôtées des ressources en main d'œuvre cédées à l'extérieur²¹.

En effet, la main d'œuvre, au sein d'une exploitation agricole, qu'elle soit familiale ou salariée, peut être utilisée de deux manières différentes : soit pour réaliser les travaux agricoles au sein de cette exploitation et sa rétribution est alors comprise dans le bénéfice global de l'exploitation, soit pour rechercher un emploi hors de l'exploitation, en cas de non besoin pour cette dernière et dans la limite de la demande extérieure (d'autres exploitations, d'autres secteurs, d'autres régions), avec dans ce cas la perception d'un salaire évalué par hypothèse au SMIC agricole.

²¹ Les coûts de la main d'œuvre louée et cédée sont comptabilisés respectivement dans les coûts salariaux et les ventes de service qui sont expliqués dans la fonction objectif.

$$\sum_{C,CP,AME,T,PFAU} ACTV_{Gf,C,CP,AME,T,PFAU,PC,Ye} * BMC_{C,CP,T,PFAU,PC}$$

$$+ \sum_{TBOV,GEN} EFF_{Gf,TBOV,GEN,PC,Ye} * COEF_{TBOV} * BMUGB \leq HMOT_{Gf,PC,Ye} + MOLOU_{Gf,PC,Ye} -$$

$$MOCED_{Gf,PC,Ye}$$

* $BMC_{C,T,P}$: besoin en main d'œuvre par culture et/ou prairies, par période

* $BMUGB$: besoin en main d'œuvre par UGB.

* $MOLOU_{Gf,PC,Ye}$: heure de main d'œuvre louée par période et par an.

* $MOCED_{Gf,PC,Ye}$: heure de main d'œuvre cédée par période et par an.

* $HMOT_{Gf,PC,Ye}$: heure de main d'œuvre totale disponible par période et par an.

Sachant que :

- la disponibilité totale en main d'œuvre par période et par an est donnée par la déduction de la disponibilité initiale en heures de main d'œuvre salariée et familiale du nombre d'heures passées avec le tracteur au cours de cette période.

$$HMOT_{Gf,PC,Ye} = (HMOSi_{Gf} + HMOFi_{Gf}) - HMOTRCT_{Gf,PC,Ye}$$

* $HMOSi_{Gf}$: disponibilité initiale en heures de main d'œuvre salariée (début de l'horizon)

* $HMOFi_{Gf}$: disponibilité initiale en heures de main d'œuvre familiale (début de l'horizon)

* $HMOTRCT_{Gf,PC,Ye}$: nombre d'heures de main d'œuvre passées avec le tracteur

- le nombre d'heures de tracteur par période est obtenu par la somme des besoins en heures de tracteur pour chaque activité et par période majorée par des heures de traction mécanisée cédées et ôtées des heures de traction mécanisée louées à une exploitation ou entreprise extérieure.

$$HMOTRCT_{Gf,PC,Ye} = HTRT_{Gf,PC,'tracteur',Ye} - HTLOU_{Gf,PC,'tracteur',Ye} + HTCED_{Gf,PC,'tracteur',Ye}$$

* $HTLOU_{Gf,PC,'tracteur',Ye}$: heures de traction mécanisée louées

* $HTCED_{Gf,PC,'tracteur',Ye}$: heures de traction mécanisée cédées.

* $HTRT_{Gf,PC,'tracteur',Ye}$: heures de traction mécanisée disponibles par période et par an.

- l'exploitant ne peut pas offrir plus d'heures de main d'œuvre qu'il n'en possède.

$$MOCED_{Gf,PC,Ye} \leq HMOT_{Gf,PC,Ye}$$

III.1.3. Facteur capital : contrainte de traction mécanique

Au même titre que les besoins en main d'œuvre, la somme des besoins en heures de traction pour chaque activité et par période doit être inférieure ou égale au nombre d'heures de traction disponible

pour chaque période majorée, par des heures de traction louées à une exploitation ou entreprise extérieure et ôtées des heures de traction cédées²².

$$\sum_{C,CP,AME,T,PFAU} ACTV_{Gf,C,CP,AME,T,PFAU,PC,Ye} * BTC_{C,CP,T,PFAU,TSM,PC}$$

$$+ \sum_{TBOV,GEN} EFF_{Gf,TBOV,GEN,PC,Ye} * COEF_{TBOV} * BTUGB_{TSM} \leq HTRT_{Gf,PC,TSM,Ye} +$$

$$HTLOU_{Gf,PC,TSM,Ye} - HTCED_{Gf,PC,TSM,Ye}$$

* $BTC_{C,CP,T,PFAU,TSM,PC}$: besoin en heures de traction par catégorie d'opération (TSM²³), par culture et par période.

* $BTUGB_{TSM}$: besoin en heures de traction par catégorie d'opération et par UGB

* $HTLOU_{Gf,PC,TSM,Ye}$: heures de traction mécanisée louées par catégorie d'opération

* $HTCED_{Gf,PC,TSM,Ye}$: heures de traction mécanisée cédées par catégorie d'opération

* $HTRT_{Gf,PC,TSM,Ye}$: heures de traction mécanisée disponibles par catégorie d'opération, par période et par an.

La disponibilité en heures de traction mécanique par période est égale à la disponibilité en traction au cours de cette période multipliée par le nombre d'heures réelles (non optimales) d'utilisation de matériel.

$$HTRT_{Gf,PC,TSM,Ye} = DISMA_{Gf,TSM,PC,Ye} * NBHT_{PC,TSM}$$

$$\text{Avec : } DISMA_{Gf,TSM,PC,Ye} = DISMA_{Gf,TSM,PC-1,Ye} + AMAT_{Gf,TSM,PC,Ye}$$

$$DISMA_{Gf,TSM, 'P1', 'an1'} = DISMA_{ini,Gf,TSM} + AMAT_{Gf,TSM, 'P1', 'an1'}$$

* $DISMA_{ini,Gf,TSM}$: disponibilité initiale en matériel par catégorie d'opération (début de l'horizon)

* $DISMA_{Gf,TSM,PC,Ye}$: nombre de matériel disponible par catégorie d'opération au début de chaque période.

* $AMAT_{Gf,TSM,PC,Ye}$: nombre de matériel acheté par catégorie d'opération et par période

* $NBHT_{PC,TSM}$: durée d'utilisation possible (non optimale) de matériel par période et par an

Toutefois, l'exploitant ne peut offrir plus d'heures de mécanisation qu'il n'en dispose.

$$HTCED_{Gf,PC,TSM,Ye} \leq HTRT_{Gf,PC,TSM,Ye}$$

²² Les coûts des heures de traction mécanisée louées et cédées sont comptabilisés respectivement dans les achats et les ventes de service qui sont expliqués dans la fonction objectif.

²³ TSM : matériels selon les catégories d'opérations (tracteur, matériel de travail du sol, fertilisation, fauche, ensilage, foin, transport...)

III.2 Contraintes relatives à l'élevage

III.2.1 Contrainte de bâtiments

Les besoins des animaux en bâtiments ne peuvent excéder la capacité initiale de l'exploitation plus l'achat éventuel de bâtiments supplémentaires :

$$\sum_{ABOV,GEN} EFF_{Gf,ABOV,GEN,PC,Ye} * BESBAT_{ABOV,GEN} \leq DISBAT_{Gf,PC,Ye}$$

Avec : $DISBAT_{Gf,PC,Ye} = DISBAT_{Gf,PC-1,Ye} + ABAT_{Gf,PC,Ye}$

$DISBAT_{Gf,'P1','an1'} = DISBAT_{in\ Gf} + ABAT_{Gf,'P1','an1'}$

- * $BESBAT_{ABOV,GEN}$: besoin en bâtiment en m^2 par catégorie d'animaux;
- * $DISBAT_{in\ Gf}$: disponibilité initiale en bâtiment en m^2 (début de l'horizon);
- * $DISBAT_{Gf,PC,Ye}$: disponibilité en bâtiment en m^2 par période et par an ;
- * $ABAT_{Gf,PC,Ye}$: construction de m^2 de bâtiments supplémentaires

III.2.2 Contrainte d'alimentation

Les choix décisionnels des éleveurs relatifs à l'affouragement comme à la complémentation sont un facteur important des résultats économiques de l'activité laitière (Delattre, 1996), mais aussi des modes de fonctionnement dominants des exploitations laitières à la Réunion. C'est souvent par la maîtrise des coûts d'affouragement que les exploitants sont mieux à même de résister à des changements sur les prix du lait ou des intrants.

Plusieurs approches peuvent être utilisées pour l'approche des coûts alimentaires selon les objectifs poursuivis (zootechniques ou économiques) et les données disponibles. On peut citer trois grandes approches en fonction du principal objet d'étude de la recherche :

- approche économique : évolution des stocks des aliments produits et achetés et coûts moyens de production ;
- approche zootechnique : étude des rations alimentaires des différentes catégories d'animaux et confrontation avec les performances laitières ;
- approche agronomique : étude de la production des fourrages sur l'exploitation et de l'évolution des stocks.

Compte tenu des recherches ou projets de développement en cours à La Réunion (CIRAD-Elevage, UAFP) et des objectifs du modèle (représentation des décisions des éleveurs), une approche pluridisciplinaire des systèmes d'alimentation animale a été choisie. En effet, un éleveur ne découpe pas sa décision entre domaines technique et économique. Sa décision intègre simultanément l'ensemble des facteurs (Alary, 2000).

Donc et afin de prendre en considération ces trois approches et garantir ainsi une ration alimentaire optimale capable de satisfaire les besoins et de remédier aux imperfections alimentaires, on a choisi de formuler et de mettre en concurrence les besoins alimentaires des animaux ainsi que la valeur nutritive des différents aliments. Cette formulation qui permettra de chercher l'adéquation permanente entre les besoins des animaux et les ressources alimentaires disponibles va contribuer fortement dans :

- La détermination des modes d'alimentation des animaux par saison, approche des temps de pâture par jour pour le système par pâturage et du nombre de balles distribuées par jour pour l'affouragement à l'auge.
- L'organisation du parcellaire : type de prairie, surface, mode de récolte (pâture, ensilage, fourrage vert, etc.), nombre de coupes et de balles (ou de bottes) par coupe et par saison ;
- L'évolution quantitative et monétaire des achats et des ventes de fourrages et concentrés sur l'année ;

Les valeurs des aliments ainsi que les besoins des animaux et leur capacité d'ingestion sont déterminés respectivement à partir des deux documents de travail suivants : « les rations fourragères à base de graminées dans les élevages bovins réunionnais : méthodes d'estimation de la valeur alimentaire et implications » de P. Grimaud (2001) et « tables de calcul des rations » établis par D. Soltner (1991).

➔ **Besoin nutritif : entretien et production du lait**

La somme des besoins en unités énergétiques (UFL), protéiques (PDIE, PDIN) et minérales (CA, P) de chaque catégorie d'animaux par période doit être inférieure ou égale au nombre d'unités nutritives disponibles par période (intra consommation (fauche et pâture) + achats extérieurs (fourrages, produits cannes et concentrés)).

$$\begin{aligned}
 & \sum_{ABOV,GEN} EFF_{Gf,ABOV,GEN,PC,Ye} * (BEUN_{ABOV,GEN,NUT}) * NBRJ_{PC} \\
 + & \sum_{Vlait',GEN} EFF_{Gf,'Vlait',GEN,PC,Ye} * (BLUN_{'Vlait',GEN,NUT}) * NBRJ_{PC} \leq \\
 & \sum_{C,T,PFAU,CP} CONSFP_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} * VALIM_{C,CP,PFAU,NUT,PC,Ye} \\
 + & \sum_{C,CP,T} ACTV_{Gf,C,CP,'pature',T,'pat',PC,Ye} * E(Y_{Gf,C,CP,T,'pat',PC,N}) * VALIM_{C,CP,'pat',NUT,PC,Ye} \\
 + & \sum_{C,T,PFAU,CP} A_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} * VALIM_{C,CP,PFAU,NUT,PC,Ye} \\
 + & \sum_{CO} QCA_{Gf,CO,PC,Ye} * VALIM_{CO,NUT}
 \end{aligned}$$

* $BEUN_{ABOV,GEN,NUT}$: besoin journalier, en unités énergétiques (UFL), protéiques (PDIE, PDIN) et minérales (CA, P), d'entretien des animaux hors vaches laitières ;

* $BLUN_{'Vlait',GEN,NUT}$: besoin journalier, en unités énergétiques (UFL), protéiques (PDIE, PDIN) et minérales (CA, P), de production laitière des vaches ;

- * $CONSP_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye}$: quantités produites et intra consommées;
- * $VALIM_{C,CP,PFAU,NUT,PC,Ye}$: valeurs énergétiques, protéiques et minérales des aliments ;
- * $A_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye}$: quantités des produits achetés (concentré non compris)
- * $QCA_{Gf,CO,PC,Ye}$: quantités de concentrés achetés²⁴ par période et par an ;
- * $VALIM_{CO,NUT}$: valeurs énergétiques, protéiques et minérales du concentré.

↻ Encombrement

La quantité de matière sèche distribuée par période ne doit pas dépasser la capacité d'ingestion des animaux.

$$\begin{aligned} & \sum_{TBOV,GEN} EFF_{Gf,TBOV,GEN,PC,Ye} * (ENCOMB_{TBOV,GEN}) * NBRJ_{PC} \geq \\ & \sum_{C,T,PFAU,CP} CONSP_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} \\ & + \sum_{C,CP,T} ACTV_{Gf,C,CP,'pature',T,'pat',PC,Ye} * E(Y_{Gf,C,CP,T,'pat',PC,N}) \\ & + \sum_{C,T,PFAU,CP} CONSFA_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} \\ & + \sum_{CO} QCA_{Gf,CO,PC,Ye} \end{aligned}$$

* $CONSFA_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye}$: quantités des produits achetés et consommés (en tonnes de matière sèche)

* $EFF_{Gf,TBOV,GEN,PC,Ye}$: effectif des animaux par catégorie (TBOV : toutes catégories comprises), par période et par an

↻ Ration alimentaire

La proportion de chou de canne et de concentré dans la ration alimentaire totale ne doit pas dépasser respectivement les 8% et 70%²⁵.

$$* \sum_{C,T,CP} (CONSP_{Gf,C,CP,'chou',PC,Ye} + CONSFA_{Gf,C,CP,'chou',PC,Ye}) * VALIM_{C,CP,PFAU,NUT,PC,Ye}$$

$$\leq 8\% * TOTNUT_{Gf,NUT,PC,Ye}$$

$$* \sum_{CO} QCA_{Gf,CO,PC,Ye} * VALIM_{CO,NUT} \leq 70\% * TOTNUT_{Gf,NUT,PC,Ye}$$

$$\text{Avec : } TOTNUT_{Gf,NUT,PC,Ye} = \sum_{C,T,PFAU,CP} CONSP_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} * VALIM_{C,CP,PFAU,NUT,PC,Ye}$$

²⁴ Avec l'hypothèse que le concentré acheté est entièrement consommé et n'est donc pas de stocké.

²⁵ Seuils fixés par les techniciens de la Sicalait et de l'URCOOPA.

$$\begin{aligned}
& + \sum_{C,CP,T} ACTV_{Gf,C,CP,'pature',T,'pat',PC,Ye} * E(Y_{Gf,C,CP,T,'pat',PC,N}) * VALIM_{C,CP,'pat',NUT,PC,Ye} \\
& + \sum_{C,T,PFAU,CP} CONSFA_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} * VALIM_{C,CP,PFAU,NUT,PC,Ye} \\
& + \sum_{CO} QCA_{Gf,CO,PC,Ye} * VALIM_{CO,NUT}
\end{aligned}$$

* TOTNUT_{Gf,NUT,PC,Ye} : consommation totale en unités nutritives et minérales

De même le taux de cellulose brute dans la ration doit se situer entre 17% et 30% de la ration totale exprimée en matière sèche (Wolter, 1997) et la quantité de mélasse distribuée ne doit pas dépasser 1 kg par animal et par jour.

$$\begin{aligned}
& 17\% * (\sum_{C,T,PFAU,CP} CONSFP_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} \\
& + \sum_{C,CP,T} ACTV_{Gf,C,CP,'pature',T,'pat',PC,Ye} * E(Y_{Gf,C,CP,T,'pat',PC,N}) + \sum_{C,T,PFAU,CP} \\
& CONSFA_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} \\
& + \sum_{CO} QCA_{Gf,CO,PC,Ye}) \leq TOTNUT_{Gf,'CB',PC,Ye} \leq 30\% * (\sum_{C,T,PFAU,CP} CONSFP_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} \\
& + \sum_{C,CP,T} ACTV_{Gf,C,CP,'pature',T,'pat',PC,Ye} * E(Y_{Gf,C,CP,T,'pat',PC,N}) + \sum_{C,T,PFAU,CP} \\
& CONSFA_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} \\
& + \sum_{CO} QCA_{Gf,CO,PC,Ye}) \\
& QCA_{Gf,'mélasse',PC,Ye} \leq \sum_{TBOV,GEN} EFF_{Gf,TBOV,GEN,PC,Ye} * NBRJ_{PC}
\end{aligned}$$

* TOTNUT_{Gf,'CB',PC,Ye} : niveau de cellulose brute dans la ration consommée

* QCA_{Gf,'mélasse',PC,Ye} : quantité de mélasse consommée par période et par an

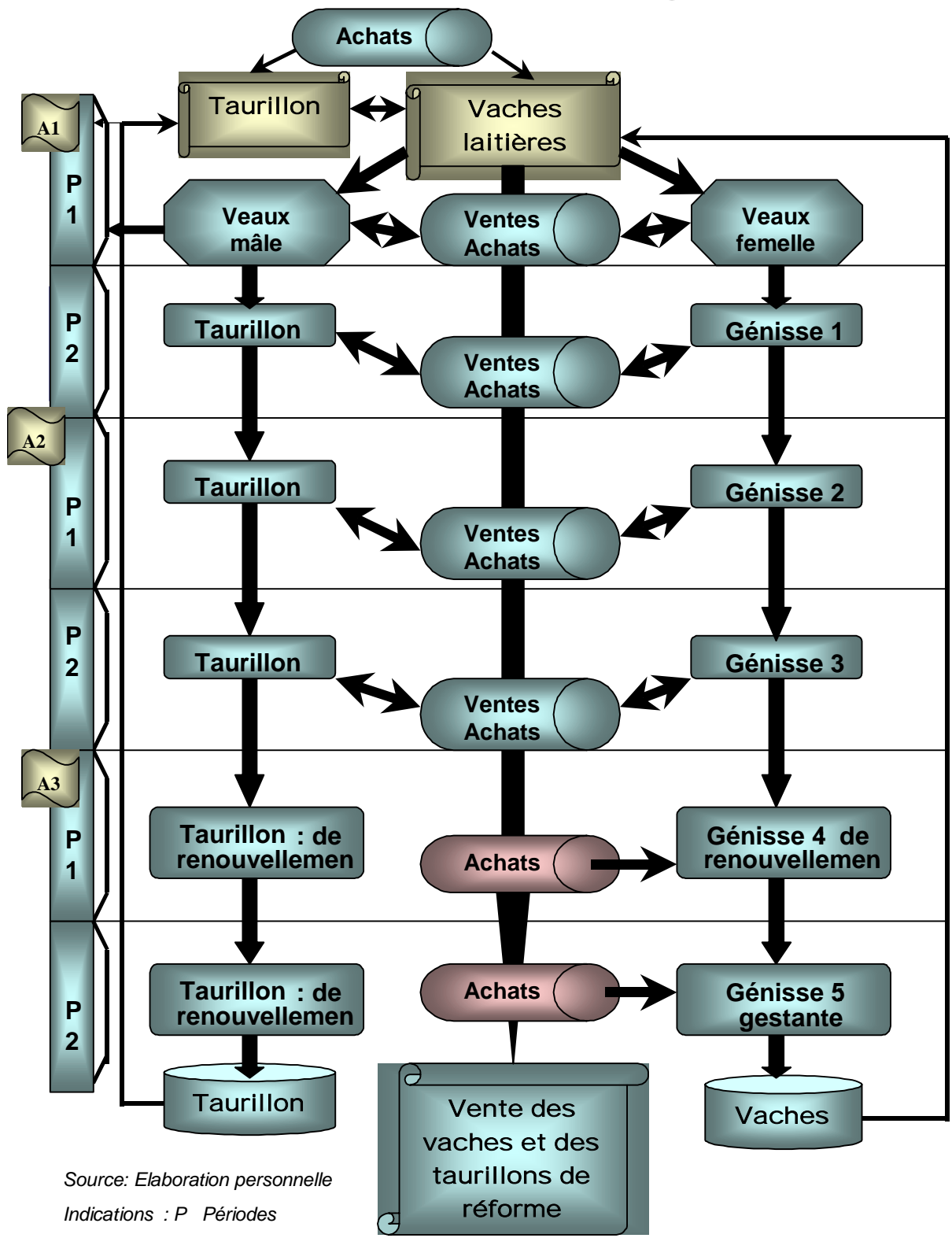
III.2.3 Contrainte de renouvellement du troupeau

Les effectifs se raisonnent période par période, ce qui permet de suivre très précisément leur évolution en fonction des naissances, des ventes et des changements de catégories. Cependant, vu la multiplicité des équations expliquant l'évolution des effectifs pour chacune des catégories d'animaux, nous avons préféré montrer la dynamique démographique du troupeau sous forme graphique (figure 5), (sachant que nous détaillons toutes les équations dans le programme de résolution GAMS (General Algebraic Modeling System) dans la partie annexes).

Les principales hypothèses retenues dans la modélisation et qui résultent des pratiques du terrain et des résultats de suivi de performances du CIRAD-Pôle Elevage sont (Tillard *et al*, 1997):

- Il n'y a pas de vente de génisses gestantes et de renouvellement ;
- Le nombre de génisses gestantes achetées par période et par exploitation ne doit pas dépasser une quinzaine puisque l'offre est limitée ;
- Le maintien de la spécialisation laitière, ce qui signifie que la plupart des veaux sont supposés vendus à la Sica revia (Société d'intérêt collectif agricole- Réunion viande), à l'exception de quelques uns pour le renouvellement. Il n'y a pas non plus d'achat d'animaux mâles ;
- Il n'y a pas d'achat de vaches en production car il n'y a pas de marché ;
- Certains groupes d'exploitations sont obligés d'élever au moins 30% de leurs génisses pour le renouvellement du troupeau.

Figure.5 Les flux d'animaux



Source: Elaboration personnelle
 Indications : P Périodes
 A Années

III.3 Les contraintes financières

III.3.1 Contrainte emprunts

Le modèle offre la possibilité de réaliser des emprunts aussi bien à court terme qu'à long terme mais il suppose l'existence de deux contraintes relatives à chacun d'eux.

Par période, le montant de l'emprunt à court terme ne doit pas dépasser 20% du chiffre d'affaire provenant des ventes des produits animaux et végétaux et des aides. Le remboursement de ces emprunts à court terme doit se faire au plus tard à la fin de l'année en cours.

$$\sum_{PC} EMPCT_{Gf,PC,Ye} \leq 20\% * CA$$

$$CA = \sum_{C,CP,AME,T,PFAU} [(VFP_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye} + VFA_{Gf,C,CP,PFAU,PC,Ye}) * PV_{C,CP,PFAU,PC}$$

$$+ \sum_{TBOV,GEN} [(PRODLAIT_{Gf,PC,Ye} * PVL_{LAIT',PC} + V_{Gf,TBOV,GEN,PC,YE} * PVA_{TBOV,GEN} +$$

$$+ [AIDE9_{Gf,PC,Ye}] + [AIDE6_{Gf,PC,Ye}]$$

$$REMBCT_{Gf,PC,Ye} = EMPCT_{Gf,PC-1,Ye}$$

- * $EMPCT_{Gf,PC,Ye}$: montant emprunté à court terme par période et par an
- * CA : chiffre d'affaire par période et par an.
- * $REMBCT_{Gf,PC,Ye}$: remboursement périodique des emprunts à court terme

Le montant cumulé des emprunts à court terme par période est égal à celui de la période précédente majoré par le montant des emprunts obtenus et ôté du montant des remboursements effectués.

$$CUMECT_{Gf,PC,Ye} = EMPCT_{Gf,PC,Ye} + CUMECT_{Gf,PC-1,Ye} - REMBCT_{Gf,PC-1,Ye}$$

$$CUMECT_{Gf,'P1','An1'} = EMPCT_{iGf} + EMPCT_{Gf,'P1','An1'}$$

- * $CUMECT_{Gf,PC,Ye}$: cumul des emprunts à court terme par période et par an
- * $EMPCT_{iGf}$: montant des emprunts à court terme initial (début de l'horizon de planification)

La contrainte relative aux emprunts à long terme indique qu'ils peuvent uniquement financer les investissements en capital de grande ampleur, en complément de l'autofinancement et des subventions d'équipement²⁶. Ces investissements peuvent être destinés à l'achat des biens d'équipements et

²⁶ Les subventions d'équipement sont des aides destinées à promouvoir les investissements qui interviennent en augmentation et/ou en amélioration des capacités productives. Elles englobent les subventions à l'importation des génisses (article 4), à l'achat des biens d'équipements et des bâtiments d'élevage, à l'aménagement des terres en friche et au renouvellement des prairies (aides UAFP : ces aides

d'animaux reproducteurs, à la construction des bâtiments d'élevage supplémentaires, à l'aménagement des terres en friche et au renouvellement des prairies. Le remboursement des sommes empruntées s'effectue par une annuité de remboursements qui est dégressive sur l'horizon de planification.

$$\begin{aligned}
 & * INV_{Gf,PC,Ye} = \sum_{TSM} (AMAT_{Gf,TSM,PC,Ye} * PRIRMAT_{TSM}) \\
 & + \sum_{C,CP,AME,PFAU} ACTV_{Gf,C,CP,AME,'T1',PFAU,PC,Ye} * CDV_{C,CP,'T1',PC} \\
 & + \sum_{TBOV,GEN} ANACHA_{Gf,'GENISSES',27,GEN,PC,Ye} * PAAR_{'GENISSES',GEN} \\
 & + ABAT_{Gf,PC,Ye} * CROBAT \\
 & + TFAMEF_{Gf,PC,Ye} * COAMEF \\
 & + TFAMEP_{Gf,PC,Ye} * COAMEP \\
 & * SUBEQ_{Gf,PC,Ye} = \sum_{TSM} (AMAT_{Gf,TSM,PC,Ye} * PRIRMAT_{TSM} * 0.3) \\
 & + \sum_{TBOV,GEN} ANACHA_{Gf,'FEMREPRO',GEN,PC,Ye} * (PAAR_{'FEMREPRO',GEN} - PAA_{'FEMREPRO',GEN}) \\
 & + ABAT_{Gf,PC,Ye} * COBAT * 0.50 \\
 & + \sum_{C,CP,AME,PFAU} ACTV_{Gf,C,CP,AME,'T1',PFAU,PC-1,Ye} * ADAMEL_{C,CP,'T1',PC-1} \\
 & + TFAMEF_{Gf,PC-1,Ye} * ADAMEF \\
 & + TFAMEP_{Gf,PC-1,Ye} * ADAMEP
 \end{aligned}$$

* $INV_{Gf,PC,Ye}$: investissements de long terme engagés par période et par an

* $SUBEQ_{Gf,PC,Ye}$: subventions d'équipement reçues par période et par an

* $AMAT_{Gf,TSM,PC,Ye}$: nombre d'équipements achetés par catégorie d'opération, par période et par an.

* $PRIRMAT_{Gf,TSM}$: prix d'achat réel d'équipements sans prise en compte des subventions qui sont de l'ordre de 30%.

* $ANACHA_{Gf,'femrepro',GEN,PC,Ye}$: nombre de femelles reproductrices achetées (vaches, génisses de renouvellement et génisses gestantes) par catégorie, par période et par an

arrivent généralement 6 mois après la date de la réalisation de l'investissement). Exceptées celles de l'article 4, ces subventions seront amorties en fonction de la durée d'amortissement de l'investissement auxquels elles sont associées et n'interviennent que dans le calcul du solde de trésorerie ou du résultat net de l'exercice.

²⁷ Femrepro : ce sont les femelles reproductrices à savoir les vaches, les génisses de renouvellement et les génisses gestantes.

* $PAAR_{FEMREPRO,GEN}$: prix d'achat réel des femelles reproductrices (sans subvention).

* $PAA_{FEMREPRO,GEN}$: prix d'achat des femelles reproductrices avec prise en compte de la subvention de l'article 4.

* $ACTV_{Gf,C,CP,AME,T1',PFAU,PC,Ye}$: nombre d'hectares renouvelés par type de prairie, type d'aménagement, par produit, par période et par an

* $CDV_{C,CP,T1',PC}$: charges directes pour le renouvellement d'un hectare sans prise en compte des subventions.

* $ABAT_{Gf,PC,Ye}$: construction de m^2 de bâtiments d'élevage supplémentaires

* $COBAT$: prix de construction réel d'un m^2 de bâtiment sans prise en compte des subventions qui sont de l'ordre de 50%.

* $TFAMEF_{Gf,PC,Ye}$: nombre d'hectares des terres en friche aménagées pour des prairies de fauches et/ou pâtures.

* $TFAMEP_{Gf,PC,Ye}$: nombre d'hectares des terres en friche aménagées pour des prairies de pâtures uniquement.

* $COAMEF$: coût d'aménagement moyen d'un hectare en friche pour des prairies de fauches et/ou pâtures sans prise en compte des subventions.

* $COAMEP$: coût d'aménagement moyen d'un hectare en friche pour des prairies de pâture uniquement sans prise en compte des subventions.

* $ADAMEL_{C,CP,T1',PC}$: le montant de l'aide au renouvellement des prairies par ha, par type de prairie et par période

* $ADAMEF$: le montant de l'aide à l'aménagement des terres en friche pour des prairies de fauches et/ou pâtures par ha.

* $ADAMEP$: le montant de l'aide à l'aménagement des terres en friche pour des prairies de pâtures par ha.

Comme nous l'avons déjà signalé, ces investissements de long terme peuvent être financés, après déduction des subventions, soit par des capitaux propres dégagés sur la trésorerie de l'année en cours après soustraction de l'emprunt à court terme²⁸, soit par des emprunts à long terme dont le montant ne doit pas dépasser 80% des sommes investies, d'où les relations :

$$INV_{Gf,PC,Ye} - SUBEQ_{Gf,PC,Ye} = EMPLT_{Gf,PC,Ye} + CAPROP_{Gf,PC,Ye}$$

$$EMPLT_{Gf,PC,Ye} \leq 80\% * INV_{Gf,PC,Ye}$$

$$CAPROP_{Gf,PC,Ye} \leq CASH_{Gf,PC,Ye} - EMPCT_{Gf,PC,Ye}$$

* $EMPLT_{Gf,PC,Ye}$: emprunts à long terme par période et par an

* $CAPROP_{Gf,PC,Ye}$: capitaux propres qu'il est possible de dégager par période et par an

* $CASH_{Gf,PC,Ye}$: solde de trésorerie périodique

Le remboursement des sommes empruntées s'effectue, à la fin de l'année, par une annuité de remboursement qui est dégressive sur l'horizon de planification. Le montant de cette annuité qui est

²⁸ L'introduction de cette contrainte a pour objectif d'éviter le financement des investissements par des emprunts à court terme.

donné par l'équation ci-dessous, majoré des intérêts relatifs à la dette à long terme, ne doit pas dépasser 80% de l'excédent brut d'exploitation :

$$ADLT_{Gf, P1', Ye} = 0 ;$$

$$ADLT_{Gf, P2', Ye} = [DLTi_{Gf} * (1/Dr_{Gf}) + \sum_{PC} \frac{EMPLT_{Gf, PC, Ye}}{card(e)} + \sum_{PC, e} \frac{EMPLT_{Gf, PC, Ye-ORD(e)}}{card(e)}]$$

$$\sum_{PC, Ye} ADLT_{Gf, PC, Ye} + (DLT_{Gf, PC, Ye} * TLT * NBRJ_{PC}/365) \leq 0.8 * \sum_{PC, Ye} EBE_{Gf, PC, Ye}$$

- * $ADLT_{Gf, PC, Ye}$: annuité de remboursement des emprunts à long terme par période et par an
- * $DLTi_{Gf}$: le montant de la dette initiale (début de l'horizon)
- * $EBE_{Gf, PC, Ye}$: excédent brut d'exploitation
- * Dr_{Gf} : la durée de remboursement de la dette initiale
- * e : l'année de remboursement des emprunts de long terme (e_1 à e_k si le remboursement s'étale sur k années).

La dette à long terme restant à payer en fin de chaque période et chaque année ($DLT_{Gf, PC, Ye}$) est obtenue par les équations suivantes :

$$DLT_{Gf, P1', Ye} = DLT_{Gf, P2', Ye-1} + EMPLT_{Gf, P1', Ye}$$

$$DLT_{Gf, P1', An1'} = DLTi_{Gf} + EMPLT_{Gf, P1', An1'}$$

$$DLT_{Gf, P2', Ye} = [DLTi_{Gf} * (1-ord(ye)/Dr_{Gf}) + \sum_{PC, e} EMPLT_{Gf, PC, Ye-(ord(e)-1)} * (1 - \frac{ord(e)}{card(e)})]$$

Certaines exploitations qui sont dans une situation économique et financière très difficile peuvent bénéficier du Fonds d'Aides Régionales aux Eleveurs Bovins (FAREBO). Son objectif est la sauvegarde de l'emploi et des exploitations d'élevage bovin en difficultés financières, par la mise en place d'un plan de redressement établi à partir d'une analyse technico-économique de l'exploitation.

Cette aide se base en grande partie sur l'effacement, à raison de 40% des retards constatés des dettes professionnelles, dans la limite de 30490€(environ 200000F) par exploitation, renouvelable seulement au delà d'un délai de 5 ans. Les critères d'appréciation de cette aide sont les suivants : détenir au moins 10 UGB, disposer d'un suivi comptable et de gestion depuis au moins 3 ans, avoir un chiffre d'affaire lié à l'activité bovine au moins égale à 50% du chiffre d'affaire global, être reconnu en situation financière fragile et présenter des dettes liées à l'activité supérieure à 1525€ (environ 10000F).

Dans le cadre de notre travail, cette aide s'appliquera uniquement à la dette à long terme initiale, à raison de 40%, et pour les exploitations en difficulté. Premièrement, on ne dispose en effet d'aucune hypothèse sur l'évolution future de ce type d'aide ; deuxièmement, la plupart des exploitations étudiées ont dépassé les phases difficiles d'installation et de démarrage. Enfin, les nouveaux emprunts

à long terme sont de plus en plus conditionnés, et par conséquent le risque de surendettement est réduit.

III.3.2 Contrainte trésorerie

La contrainte trésorerie présente une spécificité particulière qui se manifeste par la présence de deux types de trésoreries : une trésorerie de la période et une trésorerie de début de l'année.

Le solde de trésorerie de la période précédente, majoré des rentrées monétaires et diminué des déboursements périodiques, donne l'état de la trésorerie de période en cours.

Emplois	Solde de trésorerie de la période	Ressources
<p>Dépenses périodiques : charges directes (hors l'achat des animaux reproducteurs), charges fixes, location de terre, location de matériel, intérêts payés, remboursements emprunts, placements par période, prélèvements familiaux et pour apport au capital.</p> <p>Solde de trésorerie périodique</p>	<p>Solde de trésorerie de la période précédente</p>	<p>Recettes périodiques : ventes, aides, primes, location de terre, location de matériel, emprunts périodiques, intérêts perçus et revenus extérieurs²⁹</p>

$$CASH_{Gf,PC,Ye} = [REV_{Gf,PC,Ye} - \Delta \text{ stock} - INTCB_{Gf,PC,Ye} + ADLT_{Gf,PC,Ye}$$

$$+ \sum_{TBOV,GEN} ANACHA_{Gf, 'GENISSES', GEN, PC, Ye} * PAA_{'GENISSES', GEN}]$$

$$+ [TRES_{Gf,PC,Ye} + CASH_{Gf,PC-1,Ye}]$$

$$+ [CREANCEi_{Gf} - DETTEFi_{Gf}]$$

$$+ [EMPCT_{Gf,PC,Ye} - REMBCT_{Gf,PC,Ye}]$$

$$- EPARBL_{Gf, PC, Ye} - EPARG_{Gf,PC,Ye}$$

$$- PRELEVHP_{Gf,P,A} - CAPROP_{Gf,Pc,Ye}$$

Avec :

* $CASH_{Gf,PC,Ye}$: solde de trésorerie périodique

* $PRELEV_{Gf,PC,Ye}$: prélèvement familial par période et par an (paramètre exogène)

* $EMPCT_{Gf,PC,Ye}$: emprunt périodique à court terme

* $REMBCT_{Gf,PC,Ye}$: remboursement périodique des emprunts à court terme

* $EPARG_{Gf,PC,Ye}$: montant placé à 2% par période et par an

* $EPARBL_{Gf, PC, Ye}$: montant placé à 6% par période et par an

* $CREANCEi_{Gf}$: montant des créances initiales

²⁹ Le revenu extérieur n'est pas pris en compte dans cette version du modèle car même s'il existe dans certaines exploitations, il n'intervient pas dans leurs soldes de trésorerie.

* $DETTE_{Gf}$: montant de la dette fournisseur initiale

La trésorerie du début de l'année correspond à la trésorerie de la fin de l'année précédente majorée du montant de l'épargne annuelle et diminuée des annuités de remboursement des emprunts à long terme.

Emplois	Trésorerie du début de l'année	Ressources
Annuités de remboursement emprunts à long terme	Solde de trésorerie de l'année précédente Epargne annuelle	
Trésorerie du début de l'année		

$$TRES_{Gf, 'P1', Ye} = TRES_{in, Gf} + CASH_{Gf, 'P2', Ye-1} + CUMEPAG_{Gf, 'P2', Ye-1} - ADLT_{Gf, 'P2', Ye-1}$$

Avec : $TRES_{Gf, 'P2', Ye} = 0$;

* $TRES_{Gf, PC, Ye}$: cash-flow ou trésorerie du début de l'année

* $CUMEPAG_{Gf, PC, Ye}$: montant de placement disponible cumulé par période et par an

* $TRES_{in, Gf}$: trésorerie initiale (au début de l'horizon de planification)

* $ADLT_{Gf, PC, Ye}$: annuité de remboursement des emprunts à long terme par période et par an

III.4 Les contraintes réglementaires liées aux systèmes d'aides

III.4.1 Contrainte liée à l'obtention du plan de développement laitier (PDL)

Mis en place depuis 1984, le plan de développement laitier a pour objectif principal l'augmentation de la production laitière dans les hauts de l'île par un accroissement du cheptel laitier. Il vise à soutenir les éleveurs laitiers à constituer un cheptel reproducteur dans le cadre d'un schéma génétique susceptible d'assurer la pérennité et la croissance du cheptel local en prenant en charge partiellement les coûts liés à l'élevage d'une génisse jusqu'au vêlage. Jusqu'à l'année 2000, le montant de l'aide proposé par ce plan était de 1485€(9750 francs) par génisse (vache) laitière, venant en accroissement net du troupeau, plafonné à 40 vaches présentes sur l'exploitation, à 743€(4875 francs) pour la plage de vaches entre 40 et 60 et à 373€(2450 francs) pour la plage entre 60 et 80. Le versement est annuel, il a lieu chaque début d'année sur présentation de justificatifs, sachant que les dépenses sont plafonnées à 59440 €(390 000 francs) par exploitation sur 6 ans, jusqu'au 31/12/2002. Avant cette date, les éleveurs qui ont obtenu un PDL devaient impérativement atteindre l'effectif enregistré pour pouvoir inscrire un nouveau PDL.

Après deux ans de blocage (2000-2001), le PDL a repris en 2002 avec une nouvelle réglementation. Cette réglementation fixe le montant de l'aide à 1485€(environ 9750 francs) par génisse (vache) laitière primaire présente sur l'exploitation ayant vêlé dans l'année, venant en accroissement net du troupeau, jusqu'à 40 vaches laitières présentes par exploitation (dans le cas des GAEC reconnus, ces plafonds sont multipliés par le coefficient de transparence, dans la limite de 2). Elle est rétroactive pour les éleveurs ayant des dossiers en attente depuis 2 ans et qui devraient recevoir cette première tranche fin 2002. Par contre pour les nouveaux dossiers, déposés au début de 2002, la première tranche n'arrivera qu'en 2003. Le versement reste annuel, il aura lieu chaque début d'année sur présentation de

justificatifs sachant que les dépenses seront toujours plafonnées à 59440 € (390 000 francs) par exploitation sur 6 ans, jusqu'au 31/12/2008.

Pour modéliser cette prime nous avons distingué deux types de vaches : vaches avec primes dont le nombre est conditionné par la réglementation du PDL, et vaches sans primes dont le nombre est illimité. Parmi les vaches avec primes, on trouve celles avec prime par tête de 1485€, de 473€ et de 373€

- $Y_e = 1$ (2000) : $PDL_{Gf,PC,Y_e} = PDL_{iPC}$
- $1 < Y_e \leq 3$ (2002)

$$PDL_{Gf,'P1',Y_e} = PRDL1 * \left(\sum_{GEN} (EFFVP1_{Gf,'v1',GEN,'P2',Y_e-1} - STKDV_{Gf,'v1',GEN,'P1',Y_e-1}) \right)$$

$$+ PRDL2 * \sum_{GEN} EFFVP2_{Gf,'v1',GEN,'P2',Y_e-1}$$

$$+ PRDL3 * \sum_{GEN} EFFVP3_{Gf,'v1',GEN,'P2',Y_e-1}$$

- $EFFVP_{Gf,'v1',GEN,PC,Y_e} = EFFVP1_{Gf,'v1',GEN,PC,Y_e} + EFFVP2_{Gf,'v1',GEN,PC,Y_e} + EFFVP3_{Gf,'v1',GEN,PC,Y_e}$

- $\sum_{GEN} EFFVP_{Gf,'v1',GEN,PC,Y_e} \leq EFFPDL$

- $\sum_{PC,Y_e} PDL_{Gf,PC,Y_e} \leq MAXPDL$

- $Y_e = 3$ (2002) : uniquement pour les exploitants qui ont droit à la rétroactivité

$$PDL_{Gf,'P2',Y_e} = PRDL * Coffrep_{GF,PC} * \left(\sum_{GEN} (EFFVP_{Gf,'v1',GEN,'P2',Y_e-1} - STKDVP_{Gf,'v1',GEN,'P1',Y_e-2}) \right)$$

- $Y_e \geq 4$ (2003)

$$PDL_{Gf,'P1',Y_e} = PRDL * Coffrep_{GF,PC} * \left(\sum_{GEN} (EFFVP_{Gf,'v1',GEN,'P2',Y_e-1} - STKDV_{Gf,'v1',GEN,'P1',Y_e-1}) \right)$$

- $\sum_{GEN} EFFVP_{Gf,'v1',GEN,PC,Y_e} \leq SEUIL * Coeftrans$

- $\sum_{PC,Y_e} PDL_{Gf,PC,Y_e} \leq MAXPDL$

* PDL_{PC,Y_e} : la tranche de PDL reçue par période et par an.

* $PRDL1$: le montant de la prime PDL par vache (1485€/vache) jusqu'à 40 vaches

* $PRDL2$: le montant de la prime PDL par vache (743€/vache) pour la plage 40-60 vaches

* $PRDL3$: le montant de la prime PDL par vache (373€/vache) pour la plage 60-80 vaches

* PDL_{iPC} : la tranche de PDL à percevoir en 2000 sur la base des résultats de l'année 1999.

* $EFFVP_{Gf,'v1',GEN,PC,Y_e}$: effectif des vaches avec prime à la fin de chaque période.

* $EFFVP1_{Gf,'v1',GEN,PC,Y_e}$: effectif des vaches avec prime par tête de 1485€

* $EFFVP2_{Gf,'v1',GEN,PC,Y_e}$: effectif des vaches avec prime par tête de 743€

* $EFFVP3_{Gf,'v1',GEN,PC,Y_e}$: effectif des vaches avec prime par tête de 373€

- * EFFPDL : effectif des vaches inscrit en PDL (avant 2000)
- * $STKDV_{Gf,vi,GEN,PC,Ye}$: effectif de vaches avec et sans primes au début de chaque période.
- * MAXPDL : le montant maximal de PDL par exploitation sur 6 ans
- * $STKDV_{Gf,vi,GEN,PC,Ye}$: effectif de vaches (avec et sans primes) au début de chaque période.
- * SEUIL : la limite réglementaire pour le nombre de vaches avec primes (40 vaches).
- * PRDL : le montant de la prime PDL par vache (1485€/vache)
- * $Coffrep_{GF,PC}$: le coefficient de reproduction
- * $Coefftrans_{Gf}$: le coefficient de transparence (il est déterminé par l'arrêté d'agrément dans le cadre de la gestion des aides communautaires).

III.4.2 Contrainte liée à l'obtention de l'indemnité compensatoire des handicaps naturels (ICHN)

L'Indemnité compensatoire des handicaps naturels a pour but d'assurer l'exploitation continue des surfaces agricoles de manière à contribuer au maintien d'une communauté rurale viable, préserver l'espace naturel et promouvoir des modes d'exploitation durables qui tiennent compte en particulier des exigences environnementales. Le montant de ces indemnités est dûment modulé en tenant compte de la situation et des objectifs de développement propres à la région, de la gravité des handicaps naturels affectant l'activité agricole ou des problèmes environnementaux particuliers à résoudre. Les modalités et les conditions indispensables pour l'obtention de cette indemnité changent d'une année à l'autre, mais restent toujours liées aux chargements. Ainsi en 2000, le montant de l'aide a été fixé à 180 € (1180 francs) par UGB, jusqu'à 50 UGB, pour les exploitations ayant un nombre d'UGB par hectare inférieur à 1 et à 180 € (1180 francs) par hectare, limité à 50 hectares, pour celles qui ont un nombre d'UGB par hectare supérieur à 1.

A partir de 2001, les modalités ont été changées de nouveau et l'indemnité est désormais calculée à l'hectare de surface fourragère dans la limite de 50 ha mais reste toujours conditionnée par le chargement selon les modalités suivantes :

Tableau 2. Répartition des aides ICHN selon les plages de chargements (2001)

(UGB/ha)	0.10 - 0.5	0.51 - 0.8	0.81 - 2.5	2.51 - 4.0	4.01- 6.0	6.01-14
Coefficient	-10%	-20%	100%	-10%	-20%	-34%
Montant (€/ha)	162	144	180	162	144	118.8

Source : DAF

Le dépôt de dossier s'effectue au mois d'avril, au moment où se font les déclarations de surface, mais le versement, unique et représentant la totalité de l'aide, n'arrivera que trois mois plus tard.

- $Ye = 1$ (2000)

$$ICHN_{Gf,P2,Ye} = PRHN * TTOT_{Gf,P1,Ye} \left(NUGB_{Gf,P1,Ye} / TTOT_{Gf,PC,Ye} \geq 1 \right)$$

$$ICHN_{Gf,P2,Ye} = PRHN * NUGB_{Gf,P1,Ye} \left(NUGB_{Gf,P1,Ye} / TTOT_{Gf,PC,Ye} \leq 1 \right)$$

- $Ye \geq 2$ (2001)

$$ICHN_{Gf,P2,Ye} = PRHN * TLAB_{Gf,P1,Ye} \left(\text{si } 0.8 \leq NUGB_{Gf,P1,Ye} / TLAB_{Gf,P1,Ye} \leq 2.5 \right)$$

$$\text{ICHN}_{\text{Gf},\text{P2},\text{Ye}} = 0.9 * \text{PRHN} * \text{TLAB}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} \quad (\text{si } 0.1 \leq \text{NUGB}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} / \text{TLAB}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} \leq 0.5)$$

$$\text{ICHN}_{\text{Gf},\text{P2},\text{Ye}} = 0.9 * \text{PRHN} * \text{TLAB}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} \quad (\text{si } 2.51 \leq \text{NUGB}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} / \text{TLAB}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} \leq 4.0)$$

$$\text{ICHN}_{\text{Gf},\text{P2},\text{Ye}} = 0.8 * \text{PRHN} * \text{TLAB}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} \quad (\text{si } 0.51 \leq \text{NUGB}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} / \text{TLAB}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} \leq 0.8)$$

$$\text{ICHN}_{\text{Gf},\text{P2},\text{Ye}} = 0.8 * \text{PRHN} * \text{TLAB}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} \quad (\text{si } 4.01 \leq \text{NUGB}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} / \text{TLAB}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} \leq 6.0)$$

$$\text{ICHN}_{\text{Gf},\text{P2},\text{Ye}} = 0.66 * \text{PRHN} * \text{TLAB}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} \quad (\text{si } 6.01 \leq \text{NUGB}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} / \text{TLAB}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} \leq 14)$$

- * $\text{ICHN}_{\text{Gf},\text{PC},\text{Ye}}$: le montant de l'indemnité reçue chaque fin d'année
- * $\text{NUGB}_{\text{Gf},\text{PC},\text{Ye}}$: le nombre d'UGB total disponible par période et par an
- * $\text{TTOT}_{\text{Gf},\text{PC},\text{Ye}}$: surfaces totales disponibles.
- * PRHN : le montant de l'indemnité par hectare ou par UGB (1180F/ha ou 1180F/UGB)
- * $\text{TLAB}_{\text{Gf},\text{PC},\text{Ye}}$: surface labourable (fourragère).

III.4.3 Contrainte liée à l'obtention de la prime à la conservation de génisses

Cette prime a pour objectif d'inciter à la conservation des génisses nées localement pour constituer un cheptel de qualité adapté aux conditions locales. Le montant de cette prime est fixé à 152€ (1000 francs) par génisse d'au moins 18 mois, identifiée par l'EDE et provenant de l'insémination artificielle ou d'un taureau agréé. Le versement est annuel, il a lieu chaque début d'année sur présentation de justificatifs.

$$\text{CGENIS}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}} = \text{PRG} * \text{EFF}_{\text{Gf},\text{GEN3},\text{GEN},\text{P2},\text{Ye}-1}$$

- * PRG : le montant de la prime par génisse (152,45€/génisse)
- * $\text{CGENIS}_{\text{Gf},\text{P1},\text{Ye}}$: le montant de la prime reçu chaque début d'année
- * $\text{EFF}_{\text{Gf},\text{GEN3},\text{GEN},\text{PC},\text{Ye}}$: effectif des génisses de 12 à 18 mois.

Conclusion

Concevoir une hypothèse, élaborer un modèle orienté à sa vérification, le valider pour s'assurer qu'il représente les conditions agro-économiques (comparer ses résultats avec le comportement réel des exploitants), et finalement introduire dans le modèle le changement auquel on s'intéresse, telle est la démarche fondamentale poursuivie pour la construction de nos modèles économiques d'exploitations.

Conscients qu'aucun modèle ne peut capter toute la complexité du monde réel, son application nous a procuré beaucoup d'avantages : la simplification de cette réalité très complexe, l'isolement de certaines interactions d'une manière très claire, la présentation de nos données du terrain d'une manière très explicite, l'explication des comportements des éleveurs et la prédiction de leurs modes d'adaptation face à des modifications de l'environnement (changements techniques, réformes des systèmes d'aides et des primes, nouvelles technologies, marchés instables...) d'une façon très pertinente et suffisamment réaliste (cf. chapitre 4).

Bien que les modèles économiques d'exploitations soient très utiles pour certaines analyses d'ordre microéconomique, ils restent très défaillants pour d'autres questions plus globales dont les répercussions peuvent toucher un ou plusieurs secteurs de l'activité économique. Dans le cadre du présent travail, porter un regard sur l'évolution globale du secteur ou de la filière ainsi que sur

l'allocation des ressources et la répartition des aides entre les exploitations, nécessite une approche globale capable de prendre en compte les spécificités des exploitations, les échanges entre celles-ci et les interactions entre ce secteur et le reste de l'économie. L'administration des prix des inputs/outputs dans le cas de la Réunion, nous restreint, néanmoins, à s'arrêter à la construction d'un modèle offre uniquement. Cependant, un module de marché, basé par exemple sur des fonctions économétriques, peut être introduit en cas de modification des systèmes de fixation des prix.

CHAPITRE 4. RESULTATS ET DISCUSSION

I. Calibrage et validation des modèles économiques

La résolution du modèle économique va permettre d'obtenir, pour chaque exploitation type, les plans de production, les modes de récolte, le nombre d'animaux achetés et vendus, l'utilisation des ressources, la valeur des revenus dans le temps, etc. Cependant, avant de s'en servir comme outil d'aide à la conception, il faut s'assurer que le modèle reproduise bien la réalité : c'est la phase de calibrage et de validation. Le calibrage consiste à estimer et/ou à trouver les bons paramètres des exploitations types et à vérifier la cohérence interne des modèles : les relations algébriques qui les constituent correspondent-elles à ce qu'on sait du phénomène étudié ? (Boussard, 1987). La validation est basée sur la confrontation des résultats des modèles à ceux réellement obtenus sur les exploitations pour une ou des années de référence (validation *expost*). Elle peut être consolidée par des tests de sensibilité ou par une comparaison avec les résultats d'autres travaux similaires. Dans notre étude, la validation est rendue possible grâce au coefficient d'aversion au risque Φ qui est fixé en fonction de la ressemblance de la solution de base (résultats du modèle) avec la réalité³⁰.

Toutefois, avant de nous pencher dans la présentation des résultats, nous voulons signaler que les hypothèses ci-dessous sont prises en compte dans le processus de validation :

- dans l'actuelle version des modèles, la validation est faite lorsque ceux-ci sont optimisés individuellement et non comme faisant partie du modèle agrégé. Les raisons de ce choix sont justifiées par le fait que l'optimisation au niveau agrégé n'est pas assez avancée. Cette validation sera, donc, ajustée lorsqu'on passera au niveau agrégé pour mieux tenir compte de la mobilité des facteurs et des produits entre les exploitations. Cet ajustement sera, néanmoins, faible car les transferts de main d'œuvre entre diverses exploitations ne sont pas assez fluides et les phénomènes d'intégration entre les propriétaires des terres et ceux de biens d'équipement ne sont pas importants.
- le coefficient d'aversion au risque ϕ , qui est le taux de substitution entre le revenu espéré et sa variabilité, a été fixé, pour chaque exploitation type, en fonction de la ressemblance de la solution de base avec la répartition réelle des activités productives. Autrement dit, ce coefficient a été utilisé pour valider les modèles et reste inchangé par la suite. L'inconvénient de cette formulation est qu'elle nous contraint à conserver le même paramètre tout au long des années de simulation d'un univers de plus en plus risqué.
- les modèles sont considérés valides et acceptables lorsqu'ils conduisent à des plans de production proches ceux effectivement réalisés dans la situation initiale connue (2000) mais également lorsqu'ils reflètent les tendances plausibles des plans de production sur l'horizon de planification.

³⁰ Dans la pratique de la modélisation, il est très courant de déterminer le coefficient d'aversion au risque de cette manière (Hazell et Norton, 1986). Cette procédure est critiquable, mais les autres méthodes dans lesquelles il serait possible de définir ce coefficient indépendamment de l'ajustement du modèle exige un travail d'enquête plus lourd (cf. Howitt, 1995a).

- les prix des produits animaux (lait et viande) et des produits fourragers sont exogènes pour toutes les années avec un coefficient de variation conforme aux données du marché local³¹ puisque les premiers sont administrés (la demande est inélastique) et les seconds sont impossibles à endogénéiser (difficulté d'estimer et de calibrer les paramètres du système de demande).
- les prix des produits animaux et fourragers utilisés dans l'optimisation pour l'année de base 2000 sont ceux observés au cours de l'année précédente (1999). La prise en compte des changements de prix dans les simulations a nécessité l'élaboration d'hypothèses sur leur évolution future (hypothèses réalisées avec les experts de la filière).
- les marchés du travail et des biens d'équipements sont considérés fermés et donc les transferts hors région sont supposés nuls (pas de mobilité de facteur entre la région et l'extérieur).

Le nombre important de variables et leurs interdépendances rend impossible la réalisation de tests statistiques systématiques, d'où l'idée de sélectionner, avec les techniciens, des indicateurs et une année de base (2000) sur lesquels repose notre validation. On obtient ainsi des modèles qui représentent assez fidèlement la réalité (tableau 3). L'écart résiduel entre réel (comptes de gestion³²) et simulé s'explique par l'application de méthodes de valorisation de stock et de calcul d'amortissement légèrement différentes. La déviation observée pour le groupe 6 est due aux événements imprévus qu'a connu ce groupe l'année de l'enquête (perte de 5 vaches) et qui ont modifié amplement ses résultats.

Tableau 3. Ecart entre les données observées et les résultats des modèles (2000)

	Caractéristiques			Comparaison entre données observées / simulation (%)			
	Surface fourragère (ha)	Effectif vache laitière	Concentrés distribués (kg)	Production laitière	Effectif vache laitière	Dettes	Revenu disponible
Ferme 1	6	24	6258	-0.62	-1.44	6.26	1.27
Ferme 2	24	57	7604	1.19	0.83	-2.52	0.31
Ferme 3	14	48	7003	-2.23	0.59	-0.48	14.02
Ferme 4	3	20	7093	1.32	1.96	11.72	18.39
Ferme 5	6	19	4960	-2.03	-0.34	2.78	-2.93
Ferme 6	22	25	6270	-3.71	-2.95	1.17	-10.64

Sources : enquêtes et résultats des modèles

Après avoir validé les modèles pour l'année de base, nous débutons l'étalonnage et la simulation. L'étalonnage consiste à analyser les trajectoires d'évolution des exploitations types au cours de l'horizon de planification choisi (2000-2004) sans l'introduction des changements techniques et politiques. La simulation réside dans l'anticipation de ces trajectoires avec l'introduction des chocs exogènes (réforme des systèmes d'aides et des prix, changements technologiques, etc.).

³¹ Il y a deux types de variabilité de prix d'un produit : la variance du prix du produit même et la covariance entre le prix d'un produit avec celui d'autres produits de substitutions. La considération de cette dernière est nécessaire mais sa mise en œuvre est difficile étant donné que la matrice de variance – covariance est non linéaire et l'information disponible pour la calculer est peu fiable. Ce raisonnement est valable aussi pour expliquer la non utilisation de l'élasticité croisée en particulier pour les produits animaux.

³² Les comptes de gestion des exploitations types sont collectés aux près du Service d'Utilité Agricole de Gestion et d'Economie Rurale (SUAGER) pour les éleveurs liés au régime d'imposition forfaitaire et du Centre Economique Rural pour la Fiscalité Agricole (CERFA) pour ceux qui sont soumis au régime du réel simplifié.

II. Etalonnage et construction du scénario de référence

Les objectifs primordiaux de l'étalonnage sont : 1) re-vérifier la cohérence interne du modèle et s'assurer qu'il n'induit pas des chocs endogènes ; 2) entreprendre, en tenant compte de toute l'information disponible sur le futur, une analyse des tendances technico-économiques de chaque exploitation type et de capturer les points de concordance et d'étranglement entre ces tendances et celles prévues par les professionnels de la filière ; 3) construire un scénario de référence plausible pour chaque exploitation, indispensable pour distinguer le changement induit par des chocs exogènes dans la phase de simulation.

La re-vérification de la cohérence interne du modèle est renforcée par une analyse de sensibilité sur quelques paramètres incertains. L'analyse de sensibilité qui est une évaluation systématique du comportement des modèles constitue le grand atout de la modélisation économique dans l'analyse prospective. Elle consiste à examiner les changements dans les paramètres endogènes (les variables) des modèles (niveau de l'activité animale ou végétale, niveau de production, niveau d'investissement,...) provoqués par une variation des paramètres exogènes (prix, subventions, paramètres politiques, rendements techniques,...). L'objectif de cette analyse est de détecter les effets des différentes hypothèses de choix de ces paramètres exogènes sur le comportement et les résultats du modèle.

Après exposition des principaux résultats des modèles économiques pour l'année de base (2000), nous dévoilons les tendances et le scénario de référence probable pour chaque exploitation type.

II.1 Le modèle des exploitations moyennes à faible autonomie fourragère (groupe 1)

L'exploitation représentative de ce groupe est dotée d'un troupeau de 24 vaches laitières et d'une dizaine de génisses sur 6 ha, soit un chargement moyen de 5.6 UGB/hectare. Un diagnostic rapide des résultats de la modélisation pour cette exploitation type en 2000 (année de base) nous a permis de constater que :

- Le système d'affouragement obtenu par le modèle traduit parfaitement la réalité et la logique de fonctionnement de ce groupe d'exploitants. Il est essentiellement basé sur la fauche en vert en hiver et l'ensilage de balle ronde enrubannée de Chloris en été. Ce mode d'affouragement est évidemment lié aux contraintes météorologiques et géographiques mais aussi au morcellement du parcellaire qui rend difficile tout projet de mécanisation ou d'extension (Alary, 2000). En effet pour l'exploitation modélisée, plus de 50% de la superficie disponible, qui est consacrée aux cannes fourragères et sucrières, est non mécanisable. Ce système qui montre bien la faible autonomie fourragère du groupe rend les éleveurs plus prudents. Ils ne se lancent pas facilement dans l'augmentation rapide du cheptel. Pour combler l'importante déficit alimentaire, le modèle recourt à l'achat des concentrés mais aussi de fourrages tels que la paille de canne et le foin de chloris. Les charges alimentaires représentent presque 85% des charges totales.

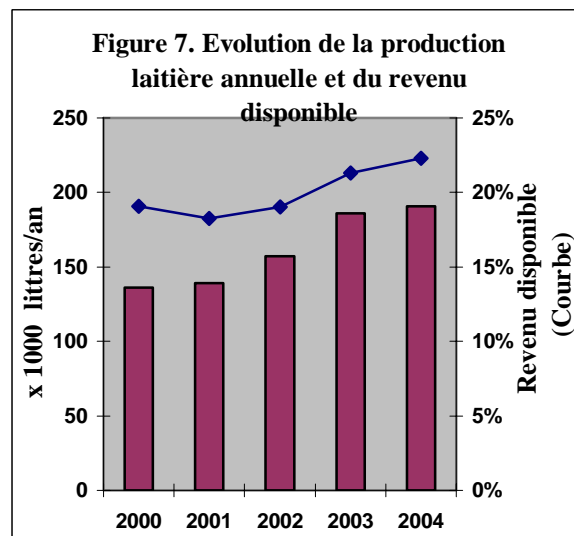
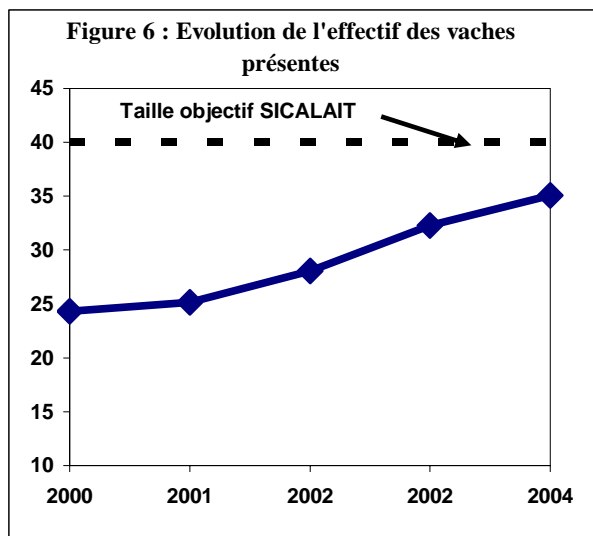
- La faible quantité d'ensilage produite en été est répartie sur les deux périodes de l'année. La majorité est consommée en été et le reste est stocké pour une utilisation dans la deuxième période de l'année qui est assez difficile. Quant aux 1.5 ha de canne à sucre, ils sont coupés en vert (plante entière) et destinés totalement aux animaux.
- Malgré la forte contrainte foncière (5.6 UGB/hectare), l'exploitant préfère élever ses génisses pour maintenir une bonne performance laitière (5600l/vache/an) tout en recourant modérément aux concentrés comparé aux autres groupes (moins de 10 kg /vache/jour, soit environ 3500 kg de concentré par vache et par an). Cette gestion prudente des charges de complémentation explique en partie le très bon taux de rentabilité brute d'exploitation enregistré (plus de 54%).
- La dimension économique dégagée par le modèle révèle que ce type d'exploitation se caractérise par une situation économique très stable grâce à de bonnes performances techniques et une gestion prudente de la trésorerie et ce malgré une faible autonomie fourragère. En effet, avec une marge brute à l'hectare d'environ 9580€ et un taux de rentabilité de 54%, ces exploitations auraient une certaine marge de manœuvre et une bonne capacité d'adaptation pour compenser les moindres résultats de performance et les moindres chocs exogènes. Ceci est consolidé par le faible niveau d'endettement (moins de 12 %), qui allège les charges financières et qui assure une certaine stabilité financière à long terme.

L'analyse de l'évolution des principaux indicateurs technico-économiques dans la phase de l'étalonnage montre une augmentation progressive de la production laitière et du revenu disponible, due essentiellement à l'accroissement du cheptel laitier et au maintien d'un bon niveau de productivité d'environ 5500 l/vache/an (figures 6 et 7). Cette augmentation reste, néanmoins, faible comparée à celle enregistrée par les autres groupes en raison du choix stratégique de l'éleveur de renouveler son troupeau à partir des génisses élevées sur l'exploitation. En effet, avec une faible autonomie fourragère, l'élevage des génisses engendrerait des coûts de production, notamment alimentaires élevés et des problèmes de trésorerie importants. Pour s'en convaincre, il suffit juste de regarder, dans la section ci-après, l'allure de la courbe de simulation avec et sans le choix de conservation des génisses (Figure 19). Il faudrait probablement réfléchir à des sources et des modalités de financement pour compenser la perte de revenu engendrée par la conservation des génisses si jamais ce choix devenait une obligation pour l'ensemble des éleveurs.

Cependant et même si, avec ce système d'élevage, le fermier ne parvenait pas à atteindre la taille objective de son troupeau qu'il s'est fixé d'ici 5 ans à savoir les 40 vaches, il arriverait à maintenir et même à augmenter son effectif initial grâce à un bon niveau de rentabilité (55%) mais aussi aux aides obtenues dans le cadre du plan du développement laitier.

En outre, située dans une zone difficile où la mécanisation est peu envisageable, l'exploitation modélisée enregistre, néanmoins, un niveau de charges de structure assez élevé (environ 46 % des charges totales) provenant en grande partie de l'amortissement du matériel dont l'intérêt et l'utilité reste discutable. Des marges de progrès résideraient, donc, dans la maîtrise de ces charges soit par la

recherche d'une éventuelle location en cas de non besoin si le marché le permet soit par l'échange de matériels avec d'autres éleveurs (options à modéliser quand on passe au niveau agrégé).



Sources : résultats des modèles

II.2 Le modèle des grandes exploitations de type GAEC basées sur un système mixte fourrage -pâturage (groupe 2)

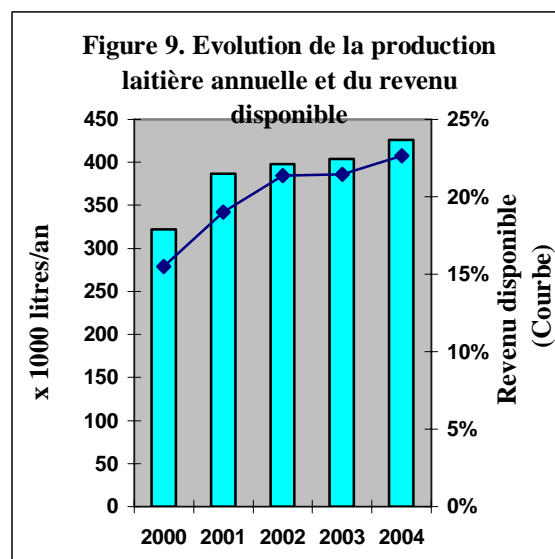
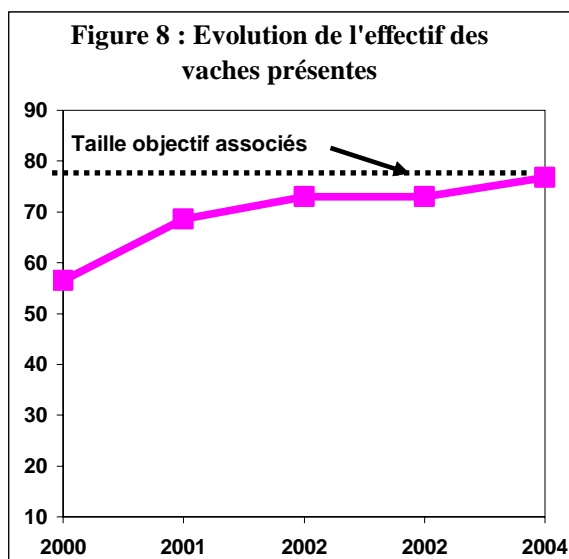
L'exploitation représentative de ce groupe est de type GAEC (2 associés) avec un cheptel laitier d'environ 55 vaches qui se développe sur plus de 22 ha de prairie de graminées tempérées dont la majorité peut être fauchée (vert et ensilage) et 1.5 hectare de prairies naturelles pour pâture. Le troupeau compte aussi une dizaine de génisses vu que l'éleveur assure le renouvellement d'une partie du cheptel. L'analyse de son système productif et de ses résultats économiques pour l'année de base (2000) nous a permis de dégager les points suivants :

- Le mode d'affouragement proposé par le modèle est basé essentiellement sur la fauche en ensilage de balles rondes à raison de 3 coupes en été et 2 en hiver. Ce mode qui reproduit le choix de l'éleveur est expliqué par des raisons climatiques et géographiques (située sur la Plaine des Cafres où la coupe en vert et le pâturage sont pratiquement impossibles en hiver) mais aussi économiques vu que l'ensilage peut être stocké et distribué pendant la période de faible production. Pour optimiser ce choix, le modèle propose, à partir de la deuxième année de simulation, l'achat d'une chaîne d'ensilage en balle ronde au lieu de faire appel à une entreprise extérieure.
- Malgré une bonne production fourragère, les charges alimentaires restent trop élevées (environ 74% des charges opérationnelles) ce qui grève encore plus la situation financière de l'exploitation déjà affaiblie par les dettes à long terme et les charges financières. Le taux de rentabilité brute d'exploitation qui est de 35% reflète cette situation et dénote bien l'importance de ces charges par rapport aux résultats. Ce niveau élevé des charges alimentaires et notamment du concentré (environ 74% des charges alimentaires) est expliqué en partie par l'atelier génisse développé sur l'exploitation pour assurer le renouvellement du troupeau.
- Avec une productivité moyenne de 5500l/vache/an, un effectif d'environ 60 vaches et une marge brute à l'hectare d'environ 4450€, ce type d'élevage constitue une grande réussite et un modèle

que la plupart des éleveurs essayent de poursuivre aujourd'hui. Cependant, des efforts pourraient être réalisés notamment par la réduction des charges alimentaires et financières mais aussi par l'augmentation de l'effectif pour rentabiliser le capital investi (bâtiment, biens d'équipements,...) et pour assurer une rémunération convenable des associés.

L'examen des tendances dégagées par la modélisation dans la phase de l'étalonnage montre une grande volonté d'ascension et une forte détermination à poursuivre les processus d'accroissement entamés au niveau de ce groupe depuis les années 90. Elles se manifesteraient essentiellement par l'augmentation continue de l'effectif animal et de la production laitière mais aussi par l'amélioration de la productivité et de la qualité fourragère des prairies. Profitant d'une conjoncture économique assez favorable (un système de prix encourageant, subventions aux renouvellements des prairies, aides à l'importation des génisses et à la construction de bâtiments, etc.), le modèle prévoit, pour maximiser le revenu, une augmentation continue du cheptel qui atteindrait les 80 vaches d'ici 2004 (soit 40 vaches/associé), un maintien de la productivité laitière à 5500l/vache et une évolution annuelle de la production laitière d'environ 8%. Ce bon niveau de production associé à une réduction de la dette à long terme (les gros investissements seraient en partie remboursés), engendrerait, en effet, un accroissement continu du revenu disponible qui se stabiliserait aux alentours de 130 % du revenu initial (figures 8 et 9).

Ces tendances reflètent assez fidèlement les objectifs des associés qui visent un effectif de 80 vaches et un revenu annuel d'au moins 22000€ par associé. Cependant, ni l'augmentation du cheptel ni celle de la production laitière ne pourrait améliorer le taux de rentabilité brute d'exploitation qui se stabiliserait aux environs de 33%. L'absence de possibilités d'extension foncière combinée à l'obligation Sicalait de garder les 30% des génisses nées n'allègerait pas les charges alimentaires qui augmenteraient proportionnellement avec la taille du troupeau. Ce contexte impliquerait ainsi une restriction des marges de manœuvre de l'exploitation et une limitation de sa capacité d'adaptation face à de fortes modifications de l'environnement. Pour l'illustrer, il suffit d'observer l'allure de la courbe du revenu disponible dans le cas de la suppression des aides au prix du lait (figure 18).



Sources : résultats des modèles

Une extension possible pour ce groupe à la fin de cet horizon de planification (2004) pourrait passer par une stabilisation de l'effectif animal à 80 vaches et une augmentation de la productivité laitière soit par l'acquisition de vaches plus performantes soit par une amélioration des performances animales et des conditions sanitaires au niveau de la ferme.

II.3 Le modèle des exploitations moyennes à bonne autonomie fourragère (groupe 3).

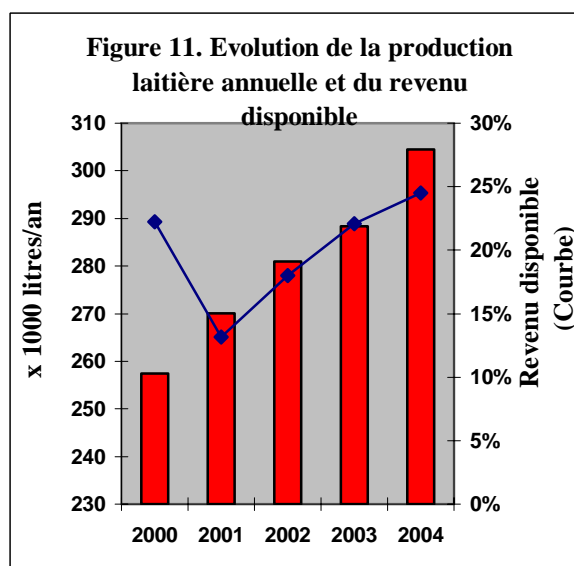
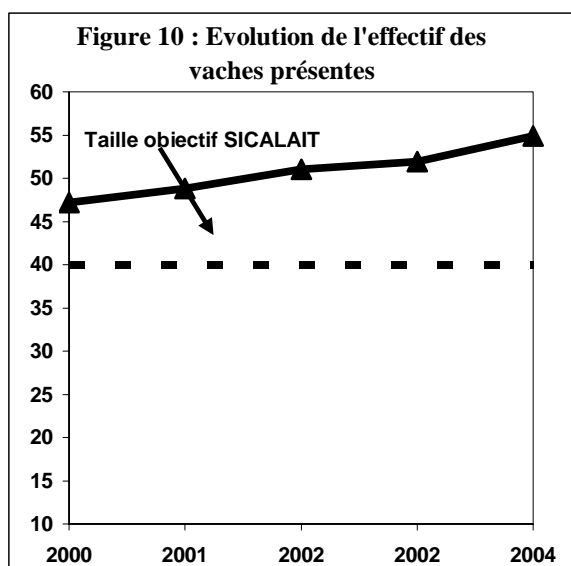
Le groupe 3 comprend les exploitations intermédiaires entre les grosses structures et les plus petites. L'exploitation retenue pour la modélisation compte un troupeau moyen de 48 vaches laitières sur 15 hectares de prairies à dominante graminées tempérées. Cette exploitation est relativement récente. Elle s'est constituée au début des années 90 avec l'aide d'un PDL.

Un aperçu rapide sur les principaux résultats de la modélisation pour l'année 2000 montre les spécificités suivantes :

- Un mode d'affouragement basé essentiellement sur la fauche en ensilage de balles rondes ainsi que la fauche en vert. Ce mode qui reproduit le choix de l'éleveur est expliqué par des raisons climatiques et géographiques mais aussi économiques. Une grande partie de l'ensilage est stockée et distribuée pendant la période de faible production et le surplus est vendu à l'extérieur.
- Bien qu'autonome en matière d'affouragement, cette exploitation recourt fréquemment à des quantités importantes de concentrés : 10-13 kg de concentrés par vache et par jour (soit entre 3500 et 5000 kg de concentrés par vache et par an) pour atteindre leur objectif de production laitière. Ceci explique en partie le niveau élevé de la part des charges du concentré dans les charges alimentaires (plus de 70 %).
- Avec une productivité moyenne de 5500l/vache/an, un effectif d'environ 55 vaches et une marge brute à l'hectare d'environ 8000 €, cette exploitation type constitue une grande réussite du moins à court terme. Des efforts pourraient, néanmoins, être réalisés notamment en terme de réduction des charges alimentaires et financières qui sont trop élevées, due au développement rapide des

investissement en terme d'équipement d'une chaîne complète d'ensilage, salle de traite, hangar à foin, etc. Cependant, vue que l'exploitation est dans la phase finale d'investissement, une grande partie des dettes à long terme devrait être remboursée d'ici 5 ans et les charges financières devraient baissées surtout que le recours au crédit terme est trop faible.

Une brève analyse des résultats du scénario de référence montre une phase d'ascension assez remarquable caractérisée par une augmentation du troupeau, une amélioration de la productivité et une baisse des charges financières par le remboursement progressif des emprunts à long terme. Cette situation est expliquée en grande partie par le maintien de l'aide au prix (8,45€/100 kg de lait) et de l'aide forfaitaire obtenue dans le cadre du POSEIDOM. En effet, contrairement aux souhaits du fermier et de la coopérative (atteindre la taille objectif de 40 vaches à la fin de l'horizon), le modèle prévoit une stabilisation de l'effectif suivie par un accroissement de la productivité laitière qui passerait de 4500 l/vache/an à 6000 l/vache/an. Ce choix qui est basé sur la vente d'animaux peu performants et l'achat des génisses à haut potentiel est stimulé par la forte pression foncière et de la faible autonomie fourragère.



Sources : résultats des modèles

II.4 Le modèle des exploitations de type Hors sol (groupe 4).

L'exploitation type est située à la Plaine des Cafres. Elle compte un troupeau d'environ 20 vaches laitières sur moins de 3 ha de prairies de fauche. Il s'agit d'un système quasiment hors sol (environ 11UGB/ha), qui s'est développé depuis 5 ans, en raison de la forte pression foncière dans les zones productrices. Ce potentiel productif rend l'exploitation entièrement dépendante de l'extérieur en terme d'alimentation et surtout d'affouragement.

L'analyse des résultats technico-économiques pour l'année 2000 marque la présence d'un système de production très intensif avec :

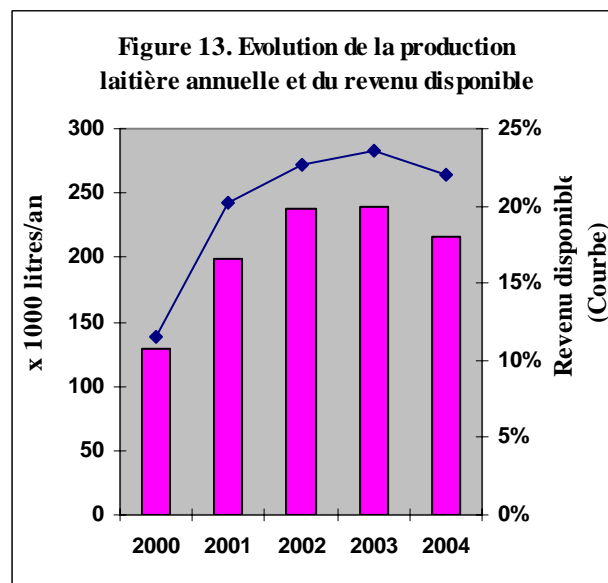
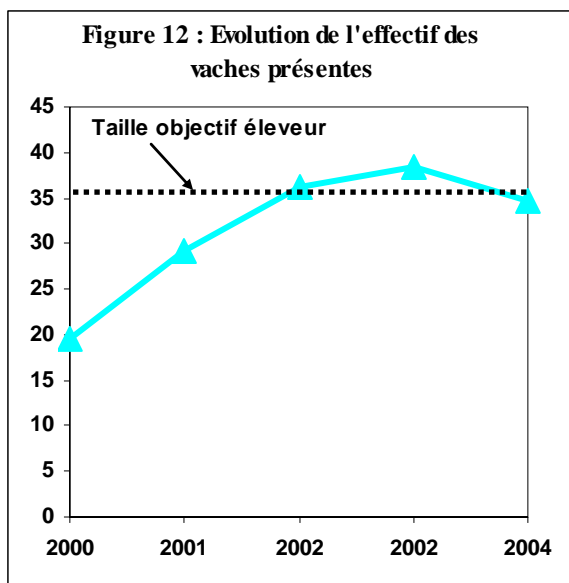
- Une occupation du sol dominée par des prairies mixtes graminées tempérées-kikuyu et un mode d'affouragement basé essentiellement sur la fauche en ensilage de balles rondes à raison de 3 coupes en été et 2 en hiver. Ce mode qui reproduit le choix de l'éleveur est expliqué par des

raisons climatiques et géographiques (la coupe en vert et le pâturage sont pratiquement impossibles en hiver) mais aussi économiques vu que l'ensilage peut être stocké et distribué pendant la période critique.

- Un mode de rationnement basé essentiellement sur l'ensilage et le concentré, ce qui explique par ailleurs la très bonne performance laitière (la productivité annuelle est d'environ 6500 L/vache/an).
- Une grande fragilité économique en raison de la forte pression foncière et de la très faible autonomie fourragère. Il en résulte ainsi des fortes charges d'alimentation qui s'élèvent à plus de 1600 €/par vache dont les charges du concentré représentent environ 70%.
- Une forte pression financière à court terme en raison du recours fréquent aux emprunts à court terme et à la quasi absence de fonds de roulement. A cela s'ajoute le niveau d'endettement à long terme trop élevé qui vient amplifier les problèmes de la trésorerie en raison des annuités et des charges financières qui sont déduites chaque fin d'année conduisant ainsi à un faible taux de rentabilité brute (34%).

Dans le scénario de référence (la phase de l'étalonnage), le modèle prévoit une évolution progressive de la production laitière et du nombre de vaches qui se stabiliseraient respectivement aux voisinages de 130ML et 35 vaches. Comme pour la plupart des groupes, cette évolution est expliquée principalement par la mise en place du plan de développement laitier (PDL) qui stimule la capitalisation animale et par le maintien des aides au prix du lait qui incite à l'expansion de la production laitière en particulier en absence du système de quota.

Ces tendances qui reflètent parfaitement les prévisions et les souhaits de l'éleveur, sont suivies, néanmoins, par une amplification des pressions foncière et financière. En effet à la fin de l'horizon, le chargement bovin atteindrait 15 UGB/ha, les emprunts à court terme doubleraient et la part des charges alimentaires dans les charges opérationnelles excèderait 90%. Cependant, le maintien, au fil des années, d'une bonne performance laitière (6500 l/vache/an) et le déclin de la dette à long terme (les gros investissements seraient en partie remboursés), engendreraient un dépassement de ces pressions et un accroissement continu du revenu qui atteindrait environ 212% du revenu initial (figures 12 et 13). La baisse progressive des annuités et des charges financières associée au déclin des charges structurelles (économie d'échelle) conduiraient, à un allègement de la contrainte de trésorerie et à une évolution du revenu disponible. Le taux de rentabilité de l'exploitation quant à-lui resterait à priori stable soit 34% en raison de l'augmentation presque proportionnelle des recettes et des charges opérationnelles.



Sources : résultats des modèles

II.5 Le modèle des jeunes exploitations en cours de constitution (groupe 5).

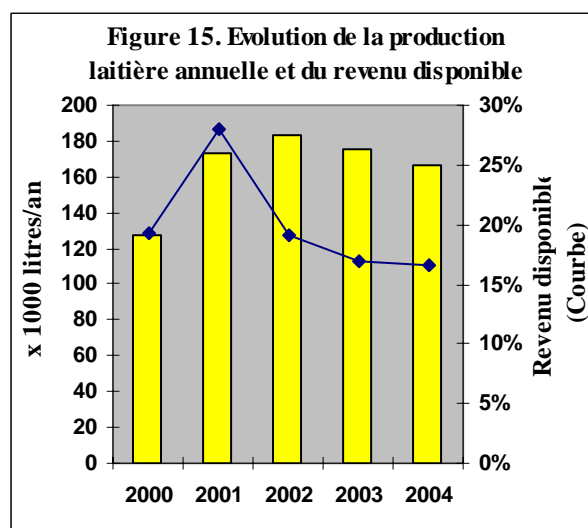
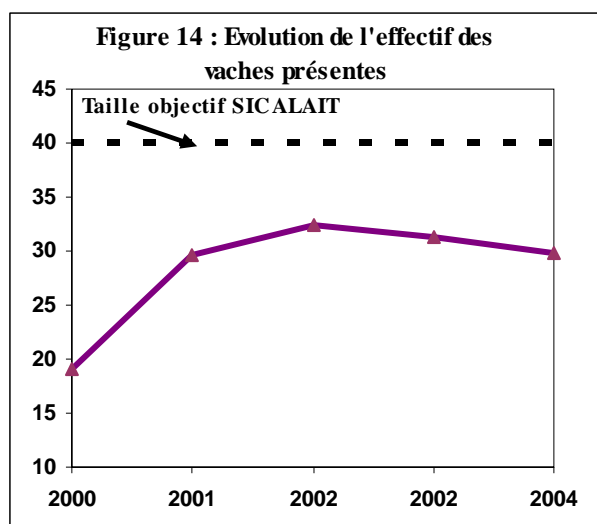
Située sur la zone du Tampon, cette exploitation type compte un troupeau d'environ 20 vaches laitières sur moins de 6 ha de prairies de fauche soit un chargement moyen d'environ 5 UGB/ha. Il s'agit d'un système en phase de constitution du cheptel sur peu de terre mais avec un espoir de doublement du troupeau d'ici 5 ans (c'est-à-dire en 2004). Un bref aperçu sur les principaux résultats de la modélisation pour l'année 2000 dévoile les spécificités suivantes :

- Le plan d'assolement proposé par le modèle est composé par 1 ha de prairie de graminée tempérée, 2 ha de prairie de Chloris, 1.5 ha de canne fourragère et 1.5 ha de canne à sucre. Le mode d'affouragement est basé essentiellement sur la fauche en vert. Ce système de production qui correspond parfaitement à celui adopté par l'éleveur est justifié par la difficulté d'accès à certaines parcelles (non mécanisables) mais aussi au manque de mécanisation au sein de l'exploitation pour produire de l'ensilage ou du foin et au coût élevé de la location du matériel dans cette zone.
- A l'instar du type 4, cette exploitation connaît une forte contrainte foncière, qu'elle essaye de maîtriser du point de vue économique par le choix d'un système peu productif : les charges d'alimentation représentent moins du tiers des charges totales pour une productivité annuelle d'environ 4500 litres par vache.
- Comparée aux autres groupes (notamment le groupe 4), cette exploitation type présente une meilleure solidité financière en raison de l'apport de capital propre et des aides obtenues lors de l'installation mais aussi à cause de la gestion prudente de la trésorerie. Le taux de rentabilité brute d'exploitation qui est de 70% reflète convenablement cette bonne situation financière et dénote bien l'importance des aides (notamment du PDL) et des prêts de long terme qu'elle a pu obtenir. Le niveau élevé des dettes et des charges financières n'est pas du tout contraignant puisqu'il est dû à la forte capitalisation au cours des 3 dernières années. Cette bonne maîtrise économique n'est malheureusement pas suivie par une bonne autonomie fourragère vu que les charges alimentaires

(environ 60% des charges opérationnelles) notamment celles du concentré (environ 80% des charges alimentaires) restent trop élevées ce qui peut grever la situation financière de l'exploitation à long terme.

Une brève analyse des résultats du scénario de référence montre une expansion rapide de la production laitière et de l'effectif animal pour la première année de simulation et une stabilisation pour le reste. L'expansion est expliquée en grande partie par la mise en place des nouveaux plans de développement laitier (PDL) ainsi que par le maintien de l'aide au prix (8,45€/100 kg de lait) et de l'aide forfaitaire obtenue dans le cadre du POSEIDOM. La stabilisation est due à un changement radical dans le système d'élevage qui consiste à maintenir l'effectif aux alentours de 30 vaches et à augmenter le rendement laitier. En effet, contrairement aux souhaits du fermier et de la coopérative (atteindre la taille objectif de 40 vaches à la fin de l'horizon), le modèle prévoit une stabilisation de l'effectif suivie par un accroissement de la productivité laitière qui passerait de 4500 l/vache/an à 6000 l/vache/an. Ce choix qui est basé sur la vente d'animaux peu performants et l'achat des génisses à haut potentiel est stimulé par la forte pression foncière et la faible autonomie fourragère.

Ces choix techniques s'accompagneraient, néanmoins, par un déclin annuel du revenu disponible et de la rentabilité brute d'exploitation d'environ 2% et 5% respectivement induit par l'augmentation des annuités et des charges financières en raison de l'acquisition des génisses reproductrices. Une exception est signalée dans la deuxième année de l'horizon où une expansion du revenu disponible est enregistrée. Elle est expliquée par l'accroissement de la production laitière et par conséquent des recettes du lait et du montant de l'aide au prix.



Sources : résultats des modèles

II.6 Le modèle Exploitations extensives sur pâture (groupe 6).

L'exploitation représentative de ce groupe se distingue essentiellement par un mode d'affouragement à base de pâturage de Kikuyu. Ce système qui domine dans l'élevage laitier des Hauts de l'Ouest résulte davantage des conditions physiques et climatiques de la zone que d'une stratégie d'extensification : la plupart des terres sont difficilement mécanisables et l'intensité des périodes de sécheresse ne permet

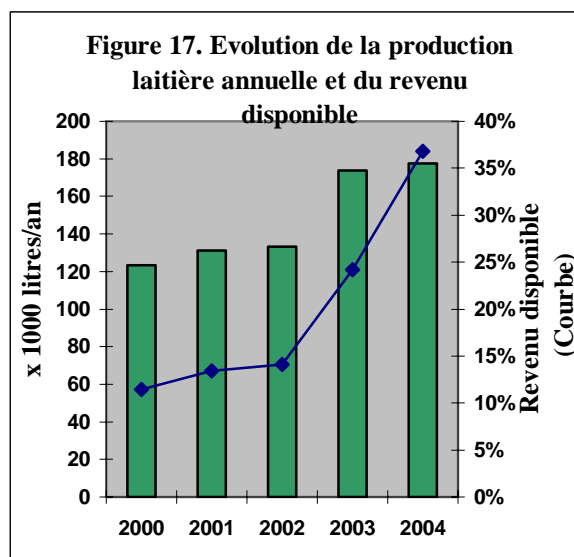
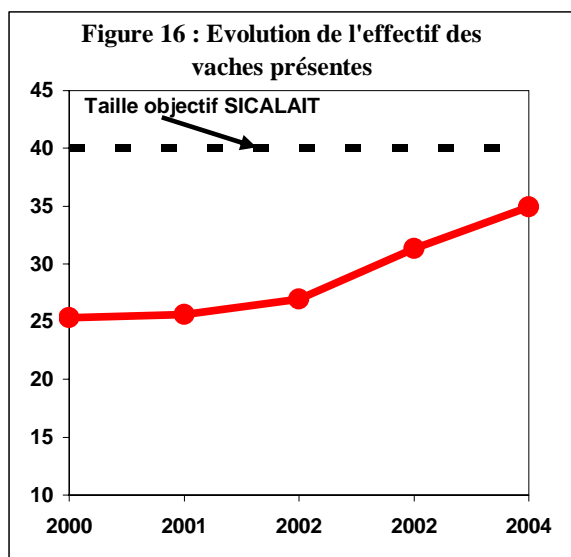
guère l'implantation de graminées telles que le dactyle ou le ray-grass. Les exploitations de ce type tentent aujourd'hui d'exploiter de nouvelles terres situées plus dans les Bas pour faire de l'ensilage de maïs.

Cette exploitation type est caractérisée par un système extensif avec un effectif animal d'environ 25 vaches qui se développe sur plus de 22 ha de prairie de kikuyu soit un chargement à l'hectare d'environ 1.2 UGB/ha. Le mode de rationnement est basé durant presque toute l'année sur le pâturage et le recours fréquent au foin de Chloris ou aux résidus de canne avec une plus faible complémentation en concentrés : 4-5000 kg de concentrés par vache et par an pour moins de 5000 litres/vache/an.

En raison de l'extensification du système d'affouragement, la performance laitière reste faible (la productivité annuelle est d'environ 4800 L/vache/an), la marge brute par vache ne dépasse pas les 2000€ par vache et par an et le taux de rentabilité brute n'excède pas les 50%. Ces résultats témoignent du niveau trop élevé des charges opérationnelles et notamment d'approvisionnement. Des efforts importants sont donc indispensables pour baisser ces charges mais aussi pour réduire le niveau d'endettement qui est trop élevé et dont les effets se ressentent immédiatement sur la trésorerie et sur le revenu. Comparée aux autres groupes, cette exploitation enregistre aussi des charges de structures relativement élevées en raison du renouvellement fréquent des prairies (c.à.d les dotations aux amortissements des investissements ne cessent d'augmenter).

Dans le scénario de référence le modèle prévoit les mêmes tendances enregistrées dans la plupart des autres groupes, c'est-à-dire une augmentation progressive de la production laitière et du revenu disponible due essentiellement à l'accroissement du cheptel laitier et à l'amélioration de la productivité qui passerait de 4500 à 5200L/vache/an. L'accroissement de l'effectif est expliqué en grande partie par la mise en place des nouveaux plans de développement laitier (PDL) ainsi que par les aides obtenues dans la phase d'installation. Une exception est signalée dans la troisième année de l'horizon où une expansion du revenu disponible est enregistrée, et ce en raison de l'obtention des primes rétroactives du PDL pour les 2 précédentes années mais aussi par les primes du FAREBO³³ qui consistent à l'effacement, à raison de 40% des retards constatés des dettes à long terme. Grâce aux primes du FAREBO, l'éleveur peut donc rembourser les 60% des dettes qui restent au bout des 3 premières années de l'horizon. Le taux de rentabilité de l'exploitation quant à-lui resterait à priori stable soit 50% en raison de l'augmentation presque proportionnelle des recettes et des charges opérationnelles.

³³ Fonds d'Aides Régionales aux Eleveurs Bovins (cf. page 51).



Sources : résultats des modèles

III. Simulation et analyse de sensibilité des exploitations à leur environnement

Si les 6 exploitations types, étudiées précédemment, ont pour point commun la spécialisation laitière, leur structure technico-financière présente des différences très sensibles qui pourraient induire des tendances d'évolution et des stratégies d'adaptation spécifiques en cas de chocs exogènes. Ces stratégies dépendent d'un jeu de facteurs clés (internes « conjoncturels et structurels » et externes à l'exploitation) tels que l'accès au foncier, les coûts alimentaires, le fonds de roulement, le taux et l'accès au crédit, etc.

Afin de simuler le poids respectif de ces facteurs sur le degré de flexibilité des exploitations et sur le mode de comportement des éleveurs en cas de changements externes (modifications des systèmes de prix et/ou d'aides, changements techniques), nous avons développé deux scénarii distincts. L'objectif de ces scénarii n'est pas de donner une représentation probabiliste ou réaliste de la prochaine orientation mais plutôt de faire quelques tests qui se veulent radicaux dans leurs orientations de façon à isoler des situations bien particulières dont une partie est certainement inapplicable dans le détail. Les résultats de chacun de ces scénarii seront comparés à ceux du scénario de référence afin de faire ressortir les effets économiques du choc exogène introduit dans le scénario.

A titre indicatif, plusieurs autres simulations ont été réalisées avec les éleveurs (suppression du PDL, augmentation de la superficie disponible, etc.) mais elles ne seront pas mentionnées dans ce document car elles répondaient à des demandes individuelles qui ne sont pas généralisables.

III.1 Scénario 1 : suppression de l'aide au prix du lait

L'idée de ce scénario s'inscrivait dans un contexte de libéralisation des échanges et de la réforme de la politique agricole commune qui dominant actuellement la scène internationale et qui impliquent la nécessité d'une réduction du soutien public au secteur agricole. Elle est basée sur une simple suppression de l'aide au prix du lait à partir de la 2^{ème} année de simulation (2001) avec le maintien constant de toutes les autres aides. Ce scénario n'est pas réaliste, du moins pour les 5 prochaines

années, étant donné que la Réunion bénéficie encore, dans le cadre de Poseidon III, de clauses dérogatoires liées à sa situation géographique ultra-périphérique. Nos objectifs sont donc, premièrement, d'ordre empirique pour détecter le degré de sensibilité des exploitations laitières aux systèmes d'aides et notamment l'aide au prix (sans aborder le sujet de l'évaluation de ces aides ; c.à.d sans infirmer ou confirmer les hypothèses de leur maintien ou/et de leur suppression) et deuxièmement, d'ordre méthodologique, pour montrer l'apport des modèles d'exploitation dans le traitement et l'analyse de ce type de problématique qui est d'actualité.

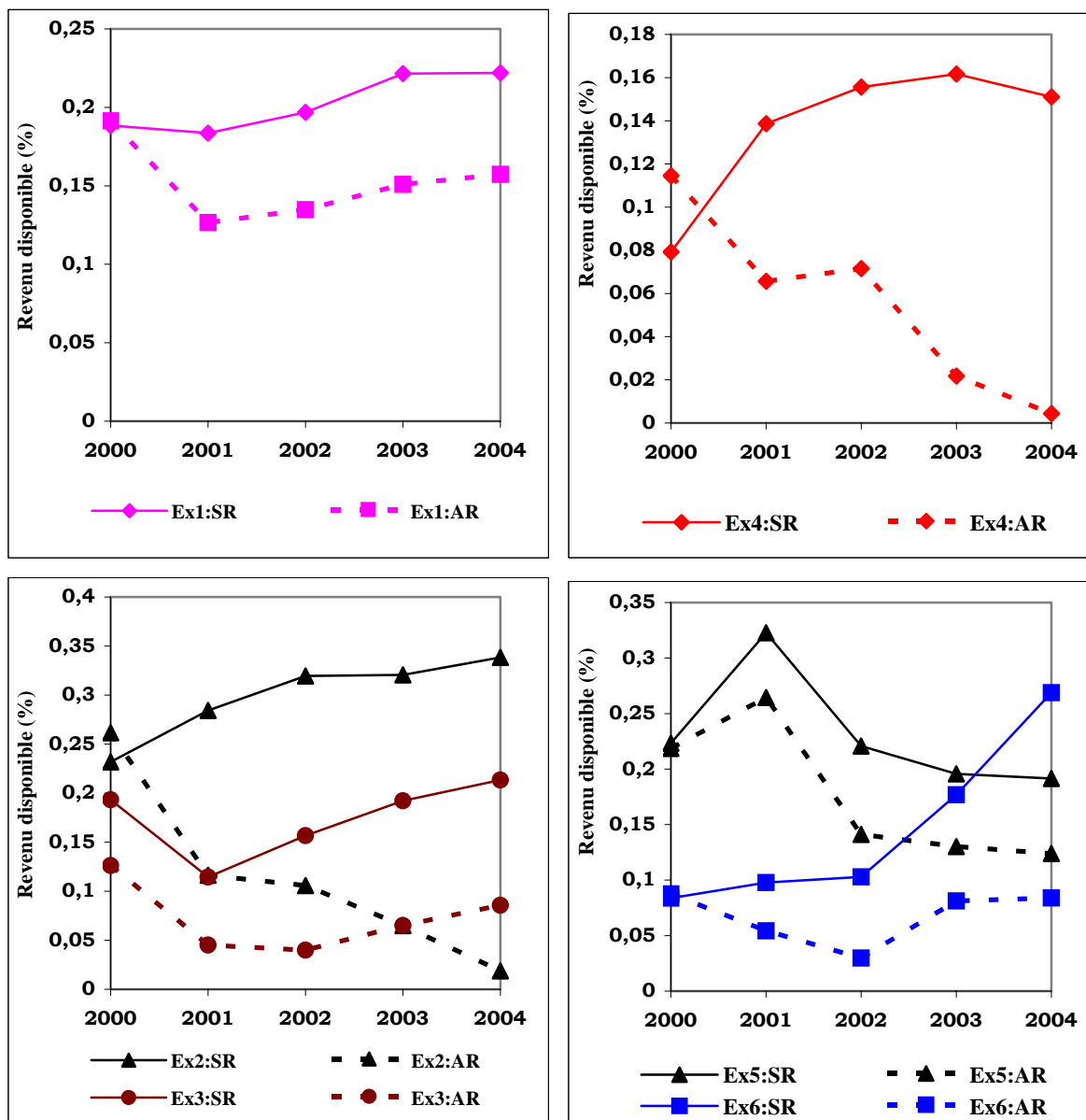
La suppression de l'aide au prix du lait conduirait à des chutes de la production laitière et du revenu dans toutes les exploitations avec plus au moins d'acuité selon leur degré de flexibilité (figure 18). Les plus touchées seraient les grandes exploitations (ex2, ex3) qui ont un taux d'endettement élevé et qui assurent le renouvellement d'une partie de leur troupeau. Les taux de décroissance annuels des revenus (par rapport au scénario de référence) de 58% pour ex2 et 59% pour ex3 sont les meilleures preuves de la forte sensibilité de ces exploitations au système d'aide. Ceci est expliqué par les raisons citées auparavant mais aussi par l'importance de ces aides en tant que source de trésorerie et de revenu stable. Cette aide représente, en effet, 20 à 25% du chiffre d'affaire de ces exploitations et donc sa suppression impliquerait certainement une forte perturbation des modes de production. L'autre explication de ces chutes remarquables des revenus, notamment dans les dernières années de simulation, est le manque de flexibilité des exploitations d'élevage spécialisées. Contrairement aux exploitations de grandes cultures où les choix techniques et les combinaisons culturales sont assez diversifiés, les éventails possibles pour les exploitations spécialisées en élevage sont restreints à quelques choix techniques et de production. Par conséquent, en cas de choc les seules possibilités pour les éleveurs seraient soit d'essayer de stabiliser l'exploitation à une taille minimale soit de quitter complètement le secteur car le passage à d'autres activités agricoles tel que l'élevage allaitant nécessiterait beaucoup de moyens et de temps pour ne pas dire impossible dans la plupart des cas. Ceci constitue, donc, une raison de plus pour justifier l'infaisabilité de ce scénario du moins sous cette forme (une simple suppression de l'aide au prix sans compensation) et pour le prochain quinquennat.

En outre, contrairement aux analyses classiques qui présentent les petites exploitations (en terme structurel et économique) comme les plus fragiles et les plus sensibles aux réformes des politiques agricoles, ce scénario montre que ce sont plutôt les grandes exploitations qui seraient les plus instables. Ceci est simple à expliquer quand on examine de près les structures de ces exploitations qui sont marquées par des lourds investissements (effectifs de vache, bâtiments, matériels) et dont la rentabilité se mesure plutôt à long terme. Autrement dit, la simulation sur une longue période, par exemple 10 an, pourrait induire une stabilisation des revenus à des seuils acceptables.

En deuxième lieu ce sont les exploitations de type hors sol (ex4) et de type extensif sur pâturage (ex6), à charges alimentaires et financières assez élevées, qui seraient menacées. La suppression des aides impliquerait pour ces exploitations un renforcement de la contrainte de trésorerie qui est déjà assez forte. Avec un potentiel productif entièrement dépendant de l'extérieur en terme d'alimentation et

surtout d'affouragement, ces exploitations n'auraient plus le choix que de réduire l'effectif animal (ex6) ou d'essayer de progresser en terme de productivité (ex4).

Figure 18. Evolution du revenu disponible avec réforme de l'aide aux prix (AR) comparée au scénario de référence (SR)



Sources : résultats des modèles

En terme d'effectif animal, cette réforme s'accompagnerait par des choix stratégiques et tactiques distincts : une réduction de l'effectif et de l'intensification dans les grandes exploitations (ex2, ex3) ainsi que dans celles sur pâturage à faible productivité (ex6), une augmentation par rapport à l'effectif initial (mais beaucoup moins importante que celle observée dans le scénario de référence) pour les exploitations hors sol affaiblies par des charges alimentaires et financières trop élevées (ex4) et enfin un maintien de la même tendance d'évolution dans les exploitations à bonne rentabilité économique et ayant une gestion prudente de trésorerie (ex1, ex5).

III.2 Scénario 2 : renouvellement du troupeau à partir des génisses élevées sur l'exploitation

Ce scénario a été retenu suite à des discussions menées avec les responsables de la filière qui s'interrogent sur les éventuelles conséquences de l'arrêt de l'atelier génisse de la Sicalait. Cet atelier a pour rôle d'alléger les coûts d'élevage des génisses et ceci en achetant les veaux femelles chez les éleveurs, en les élevant et ensuite en les revendant en tant que génisses reproductrices à un prix raisonnable.

L'idée de ce scénario consiste donc à obliger les éleveurs à garder 30% des génisses nées afin d'assurer le renouvellement de leur troupeau puisqu'on suppose que l'atelier génisse de la Sicalait disparaîtrait complètement et donc le marché des génisses reproductrices deviendrait très restreint. La seule chose qui change donc par rapport au scénario de référence est l'introduction de cette contrainte. Le montant de la prime pour la sauvegarde des génisses est maintenu au même niveau, soit environ 150€ par génisse gardée. Les coûts d'élevage des génisses sont modélisés dans ce scénario comme étant des coûts de production et non d'investissement. Notre objectif consiste donc à détecter le degré de sensibilité des exploitations laitières à ce changement de conduite, à anticiper leurs modes d'adaptation et enfin à prévenir les décideurs en cas où il y aurait des conséquences désastreuses.

Pour les grandes exploitations (ex2, ex3), cette contrainte est déjà active dans le scénario de référence puisque les éleveurs sont obligés d'assurer le renouvellement de leurs troupeaux par eux même. Autrement dit, pour ces deux types d'exploitations nous faisons une simulation inverse par la désactivation de cette contrainte afin de simuler ses effets sur les choix techniques, la production et le revenu.

L'activation de cette contrainte pour les exploitations 1, 4, 5 et 6 conduirait, comparativement au scénario de référence, à une baisse de la production laitière et du revenu tout au long de l'horizon de planification (figure 19). La forte baisse est enregistrée au niveau du revenu qui atteindrait chaque année et pour les 4 types d'exploitations environ 10%. Cette baisse reste, néanmoins, beaucoup moins forte que celle enregistrée dans le scénario précédent (suppression des aides). Les plus touchées seraient les petites exploitations qui sont dans une phase de croissance et qui ont des taux de rentabilité faibles ne dépassant pas les 30% (ex4, ex6). Garder le 1/3 des génisses nées impliquerait pour ces exploitations une augmentation des charges alimentaires et financières qui sont déjà trop élevées ainsi qu'à une amplification des problèmes de trésorerie.

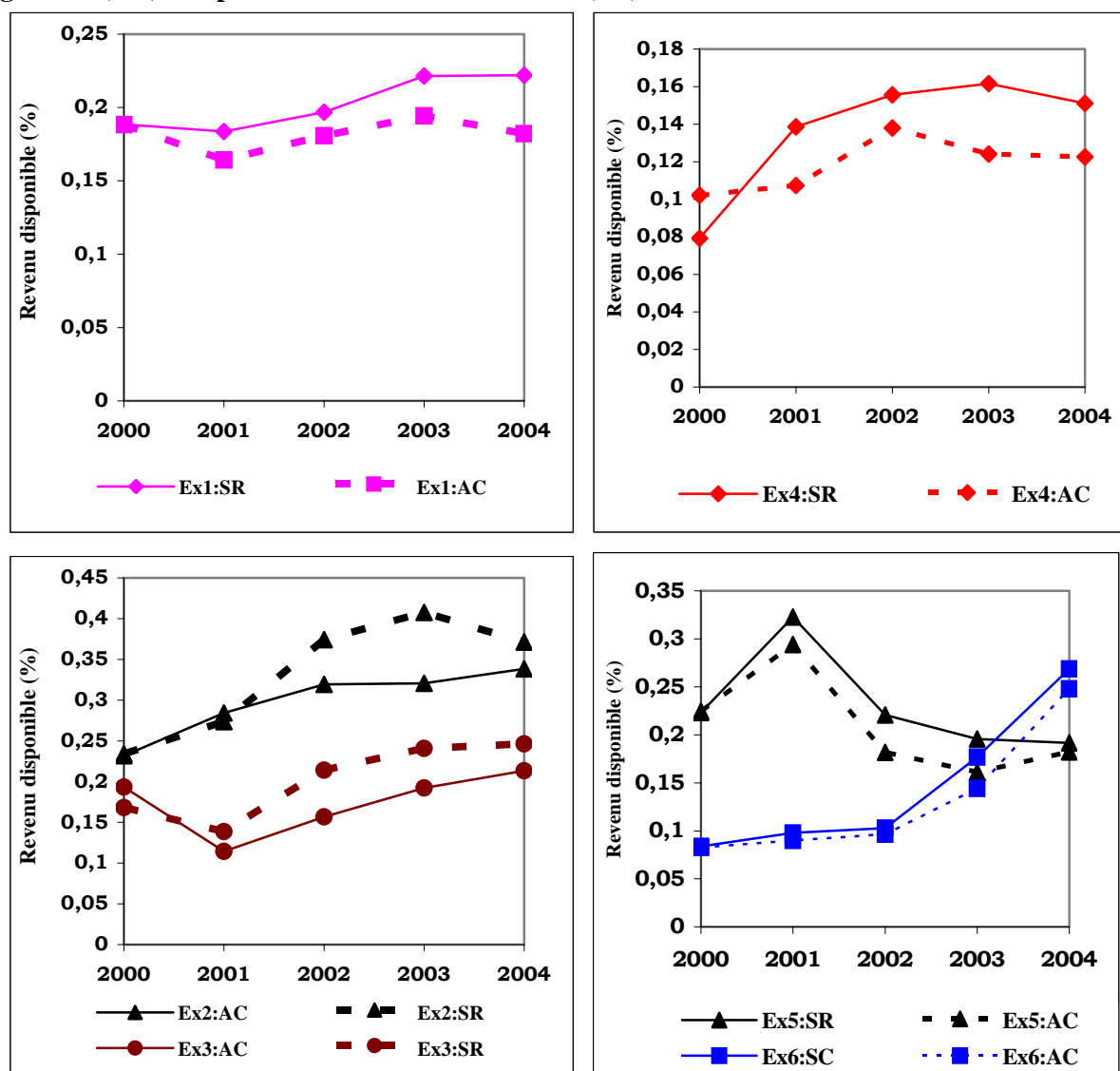
En terme d'effectif animal, l'impact de cette contrainte semble faible car même si aucune de ces exploitations n'arriverait à atteindre la taille objectif définie par la Sicalait à savoir les 40 vaches, le modèle prévoit le maintien de la même tendance que celle observée dans le scénario de référence, ce qui est cohérent car c'est la prime du PDL qui constitue le déterminant principal pour l'effectif.

La désactivation de la contrainte pour les grandes exploitations (ex2, ex3) induirait sans surprise le maintien de la même tendance pour l'effectif des vaches et de la production laitière mais une augmentation du revenu disponible dès la deuxième année de simulation. Autrement dit, le modèle

trouve plus profitable d'assurer le renouvellement du troupeau par l'achat des génisses reproductrices que par l'élevage au niveau de l'exploitation.

Ces résultats montrent que dans le contexte actuel, ce scénario peut ne pas être réaliste car la fragilité de la filière, du moins pour les 5 prochaines années, nécessiterait certainement une compensation de la perte de revenu engendrée par ce scénario. Les solutions envisageables seraient d'accompagner ce scénario soit par une augmentation et une modulation de la prime à la conservation des génisses soit par un allègement des coûts d'élevage par des emprunts à long terme à taux raisonnable remboursable dès que les génisses entrent en production.

Figure 19. Evolution du revenu disponible avec la prise en compte de la contrainte élevage des génisses (AC) comparée au scénario de référence (SR)



Sources : enquêtes et résultats des modèles

Bien que ces résultats nous semblent significatifs de grandes tendances d'évolution, ils doivent être interprétés avec prudence en tenant compte des limites du contexte d'analyse.

Conclusion

Le cadre évolutif des systèmes de production et d'aides à la Réunion nous a permis de montrer l'intérêt des outils d'analyse quantitative dans la compréhension, l'analyse et l'anticipation de l'évolution de ces systèmes face à des changements d'environnement. Ces outils qui permettent de quantifier les relations causales qui régissent le secteur, constituent un instrument important d'aide à la conception et à la décision et les prochaines années devraient être riches en développement (tant en matière de modèles que de coopération entre les concepteurs et les utilisateurs).

Ces modèles sont actuellement fonctionnels et devront être appropriés par les techniciens de la filière pour les accompagner dans leurs réflexions sur la conduite future des exploitations.

Bien que l'application de la programmation mathématique pour le présent travail ait été très avantageuse, elle reste toutefois non exempte de limites qui pourront être dépassées dans des travaux ultérieurs :

La première limite est spécifique à la validation des modèles économiques : quoique l'utilisation du modèle pour reproduire la réalité soit jugée assez acceptable, sa validation aurait pu être meilleure si elle était basée sur des méthodes plus adaptées telle que la méthode de Programmation Mathématique Positive développée par Richard Howitt (1995). Cette méthode stipule que si les résultats du modèle ne correspondent pas à la réalité, c'est qu'il existe des coûts non linéaires qui n'ont pas été pris en compte, aussi bien que des facteurs de production hétérogènes provoquant des rendements décroissants. Il est possible de détecter et de corriger ce manque de spécification en employant d'une manière très astucieuse la théorie de la dualité (Howitt, 1995a).

De même la simulation de l'évolution future des résultats aurait pu être améliorée par l'introduction des séquences climatiques les plus fréquentes, l'emploi de la modélisation binaire notamment pour modéliser les seuils de chargements ou pour calculer les primes, etc. Ceci n'a pas été fait dans notre cas, car nous jugeons que le modèle est déjà très complexe.

La deuxième limite concerne l'échelle de la modélisation : l'application de la modélisation se situe à un niveau très restreint qui est l'exploitation individuelle. Elle est donc inefficente quant à l'analyse du marché, de l'évolution globale de la filière ainsi que sur l'allocation des ressources et la répartition des aides entre les exploitations. Il est donc intéressant de porter un regard plus complexe sur la structure du marché, les élasticités, les réactions de la demande et le comportement des consommateurs, qui ne sont pas pris en compte dans notre analyse.

Conscients de ces limites, nous avons pensé à lancer, en collaboration avec les chercheurs du pôle élevage ainsi que les professionnels des filières élevages, une opération de modélisation à l'échelle régionale. Cette modélisation, dont les spécificités seront développées dans le chapitre ci-après, reposera sur certaines hypothèses à savoir : la fonction objectif du modèle agrégé est la somme pondérée des fonctions objectifs individuelles des modèles d'exploitation ; les prix de certains produits sont toujours définis d'une manière exogène ; il n'existe pas d'interaction explicite à l'intérieur du

secteur animal et, encore moins entre celui-ci et le reste de l'agriculture, etc. Pour calibrer les paramètres du modèle agrégé la méthode de programmation mathématique positive (PMP) pourrait être appliquée. En outre, afin de mieux modéliser les nouveaux systèmes d'aides, la modélisation binaire pourrait être employée.

CHAPITRE 5. LE MODELE AGREGÉ COMME PERSPECTIVE

Introduction

L'objectif de ce chapitre est de porter, via un modèle agrégé, un regard sur l'évolution globale de la filière laitière à la Réunion dans les prochaines années ainsi que sur l'allocation des ressources et la répartition des aides entre les exploitations face à d'éventuelles réformes des politiques interventionnistes et des changements techniques. L'idée est de concevoir un outil d'aide à la décision publique pour l'analyse et l'anticipation, à l'échelon régional des effets socio-économiques et environnementaux de politiques agricoles et commerciales sur, notamment, les choix de productions, les revenus agricoles, les dépenses publiques, les échanges et le bien-être.

Cet objectif nous amène donc à transposer l'analyse d'un niveau individuel, dont les fondations micro-économiques sont stabilisées essentiellement sur la théorie de l'offre produite par le modèle d'exploitation, à un niveau régional qui introduit toutes les composantes du mécanisme du marché, c'est à dire les effets de l'offre, la demande et les prix.

Le passage à un niveau régional est indispensable pour intégrer toutes les ressources de l'offre et de la demande des producteurs de la région, et définir la forme du marché dans lequel ces acteurs opèrent (compétitif, monopolistique, oligopolistique, monopsonistique, etc) même s'il peut être parfois connu à l'avance.

Cependant, comme indique le titre, ce chapitre constitue en fait une perspective pour la suite de cette opération de modélisation qui a débuté en 2001. La construction, le calibrage et la validation de ce modèle agrégé ne sont pas encore achevés et pourraient faire l'objet d'un nouveau postdoc.

I. Type de modèle agrégé retenu et issu d'agrégation

Pour concevoir et élaborer un modèle agrégé, la première décision à prendre concerne le choix d'une approche de modélisation. Dans la littérature il y a fondamentalement deux types de modèles : (1) les modèles de Buckwell et Hazell (1972) qui consistent à ajouter des fonctions de demande au modèle d'offre obtenu par l'agrégation des modèles d'offre individuels et dans lequel les prix sont déterminés de manière endogène, par exemple le modèle MATA, et (2) les modèles économétriques multi-produits à savoir AGMemod, IMPACT, Aglink etc. Les principales différences sont que le premier type comporte un problème explicite d'optimisation sous contraintes technologiques et autres, tandis que les seconds comportent des équations de comportements pour l'offre et la demande exprimées en fonction des prix et d'autres variables telles que les instruments politiques. Le point commun entre ces deux modèles du marché est que les prix et l'offre s'ajustent simultanément pendant que tous les deux sont intégrés dans un modèle fermé.

La discussion sur ces deux approches a été quelque peu devancée dans les dernières années par la mise au point de modèles élaborés sous la forme de systèmes modulaires dans lesquels il est possible de choisir la méthode la plus appropriée pour chaque module selon les contraintes en données et les objectifs du modèle. C'est le cas du modèle CAPRI (Common Agricultural Policy Regional Impact

analysis) qui est composé d'un module de l'offre et d'un module du marché couplés par un processus itératif. **Le module de l'offre** consiste en l'agrégation de 200 modèles de programmation non linéaires représentant les offres de 30 activités végétales et 15 activités animales au niveau de toutes les régions administratives des 15 Etats Membres de l'Union européenne et fonctionnant avec des prix exogènes lors de chaque itération. **Le module du marché** de type statique, multi-produits, multi-régions avec une différenciation spatiale, est composé de plusieurs agrégats de pays qui comportent chacun les fonctions d'offre ainsi que les fonctions de demande en consommation humaine, en alimentation animale et en transformation. (Britz et al, 2002).

Fondamentalement, c'est un processus itératif qui relie les 2 modules de CAPRI. Après résolution du module de l'offre avec des prix exogènes, les résultats des modèles régionaux, notamment en terme de superficies cultivées et taille des troupeaux, sont agrégés dans des modèles nationaux dont la structure est identique à celle des modèles régionaux et dont le calibrage est basé sur les résultats agrégés via des techniques empruntées à la programmation mathématique positive. Les fonctions d'offre et de demande d'alimentation animale du module du marché sont ensuite re-calibrées de sorte qu'elles produisent les mêmes quantités observées dans le module de l'offre. Le modèle du marché est ensuite résolu et renverra ainsi les changements aux niveaux de l'offre globale et des prix aux modèles de programmation. Ces derniers sont alors résolus de nouveau avec les prix générés, et le processus de calibrage du modèle du marché et de résolution des modèles de programmation avec les nouveaux prix est répété jusqu'à ce que les prix anticipés et simulés deviennent (presque) identiques.

Bien que le système modulaire soit très séduisant, notre choix a été fait sur le modèle de programmation proposé par Buckwell et Hazell. Ce choix suppose la combinaison simultanée de tous les modèles individuels d'exploitations dans un cadre unique où les liaisons représentant les transferts entre les exploitations seraient définies de manière explicite.

Dans une première version du modèle, la demande serait supposée inélastique et les prix (inputs et outputs) seront maintenus exogènes car la plupart d'entre eux sont administrés. Il n'existerait donc pas d'interaction explicite à l'intérieur du secteur animal et, encore moins entre celui-ci et le reste de l'agriculture. Cette administration des prix s'explique par le faible niveau d'autosuffisance (moins de 20%) qui peut entraîner une forte instabilité du marché local en cas de non contrôle. Notre objectif est non pas de calculer le prix réel ou de chercher l'équilibre compétitif par une réinitialisation des prix chaque année, mais plutôt de représenter le mode d'adaptation des producteurs et anticiper ainsi à la fois l'importance des variations de l'adaptation et la vitesse à laquelle elles interviennent dans le temps.

Avec des prix exogènes, notre modèle agrégé serait tout simplement un modèle d'offre qui maximise l'utilité espérée globale (la somme pondérée des utilités individuelles) sous contraintes, selon les principes néoclassiques. Ces contraintes sont celles retenues dans les modèles individuels d'exploitations auxquelles nous rajoutons les contraintes de transferts entre les exploitations. Avec un tel modèle, il est possible d'évaluer l'impact à court et/ou long terme de politiques agricoles sur la

production, les revenus et les techniques de production aussi bien au niveau de l'exploitation qu'au niveau agrégé.

Toutefois, le passage du niveau individuel au niveau global pose plusieurs problèmes d'agrégation, étant donné que toutes les exploitations ne sont pas identiques. La manière idéale pour agréger consiste d'abord à construire pour chaque exploitation individuelle un modèle et ensuite à relier l'ensemble de ces modèles pour former un modèle agrégé, régional ou national, d'équilibre partiel ou général.

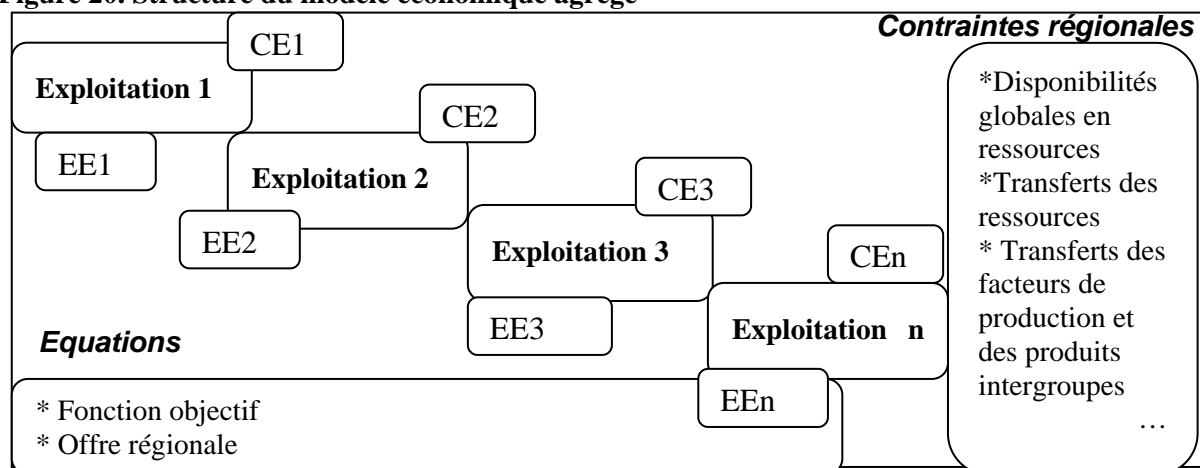
Théoriquement, un modèle idéal d'agrégation se présente comme suit :

Soit le vecteur X_i^* représentant la solution optimale du $i^{\text{ème}}$ modèle d'exploitation, la solution optimale du modèle agrégé, régional ou sectoriel, sera la suivante :

$$X_1^* = \sum X_i^*$$

Cependant, vu qu'il est pratiquement impossible de modéliser chaque exploitation individuellement, le modèle agrégé devrait donc être basé sur une typologie des exploitations et par conséquent sur les exploitations représentatives de chaque groupe. Cette approche consiste en une classification des exploitations en un ensemble de groupes homogènes. Pour chaque exploitation représentative de ces groupes, on construit un modèle individuel. Les modèles d'exploitation seront ensuite agrégés pour construire le modèle régional ou sectoriel en utilisant le nombre d'exploitations de chaque groupe comme coefficient de pondération. Cette agrégation introduit la possibilité des transferts entre les groupes d'exploitations, mais d'une manière limitée et selon les caractéristiques régionales (figure 20).

Figure 20. Structure du modèle économique agrégé



Source : *Elaboration personnelle à partir de Hazell et Norton (1986).*

* EE: Equations de l'Exploitation

*CE : Contraintes de l'Exploitation

Mathématiquement, un modèle agrégé construit sur la base des exploitations représentatives peut être formulé comme suit :

Soit le vecteur X_h^* représentant la solution optimale du $h^{\text{ème}}$ modèle d'exploitation représentatif et soit N_h le nombre d'exploitations du groupe, la solution du modèle agrégé sera la suivante :

$$X_2^* = \sum N_h X_h^*$$

Utiliser le nombre d'exploitations dans chaque groupe comme poids est la meilleure procédure si les exploitations représentatives sont définies comme la moyenne arithmétique pour leur groupe.

Toutefois, cette agrégation n'est valide que si les exploitations sont classifiées au sein des groupes selon les besoins de la théorie de l'homogénéité. Cette théorie avancée par Day en 1961 exige trois conditions pour assurer l'homogénéité des groupes à savoir : l'homogénéité technologique (même type de ressources et contraintes, même niveau technologique, même capacité de gestion...), la proportionnalité pécuniaire (des revenus similaires) et la proportionnalité institutionnelle (le vecteur de contrainte de chaque exploitation doit être proportionnel au vecteur de contrainte de l'exploitation agrégée ou moyenne).

Outre les questions techniques de l'agrégation, le modèle agrégé pose une série de questions relatives aux rapports et interactions entre agents économiques et leur formalisation, le choix des variables à endogénéiser (c'est-à-dire des variables dont les valeurs peuvent être générées dans le cadre du modèle), le degré de désagrégation des produits (inputs, outputs), des facteurs, des régions, des types et dimensions d'exploitations, le traitement du temps, etc. Ces caractéristiques font partie de la spécification des relations économiques et de la structure du modèle.

II. Les équations du modèle agrégé

II.1 La fonction objectif agrégée

La fonction objectif du modèle agrégé retenue consiste à optimiser l'utilité espérée globale obtenue par agrégation de l'utilité espérée provenant de chaque modèle-type tout en garantissant le respect des normes en vigueur pour l'analyse de ces derniers, c'est-à-dire en gardant les contraintes individuelles et en utilisant des prix anticipés exogènes.

Théoriquement et pour un produit quelconque i , cette fonction objectif se représente comme suit :

$$\text{Max } F_i = \sum_{h=1}^H \left(\sum_{t=t_0}^T \frac{C_{i,h,t} X_{i,h,t} - \phi_h \lambda_{i,h,t}}{(1+\tau)^t} \right) * N_h$$

$$\text{Avec : } F_{i,h} = \sum_{t=t_0}^T \frac{C_{i,h,t} X_{i,h,t} - \phi_h \lambda_{i,h,t}}{(1+\tau)^t}$$

$$Q_{i,t} = \sum_{h=1}^H Q_{i,h,t} * N_h ; \quad Q_{i,h,t} = X_{i,h,t} * Rdt_{i,h,t} ;$$

$$A_{i,h} X_{i,h,t} \leq B_t ; B_t = \sum_h \sum_i b_i X_{i,h,t-1} ; X_{i,t} \geq 0$$

N_h : nombre des exploitations du $h^{\text{ème}}$ groupe³⁴;

$Q_{i,h,t}$: production du $h^{\text{ème}}$ groupe d'exploitation en produit i à l'instant t ;

$Q_{i,G}$: production globale du produit i à l'instant t ;

$F_{i,h}$: fonction objectif individuelle (utilité espérée du $h^{\text{ème}}$ groupe d'exploitation en produit i) ;

F_i : fonction objectif globale (utilité espérée globale du produit i) ;

³⁴ Dans notre cas, on compte 6 groupes d'exploitations.

$C_{i,h,t}$: le revenu espéré de l'activité produisant i à l'instant t ;

$X_{i,h,t}$: le niveau de l'activité produisant i à l'instant t ;

$Rdt_{i,h,t}$: le rendement de l'activité produisant i à l'instant t ;

Φ_h : le coefficient d'aversion au risque³⁵ ;

$\lambda_{i,h,t}$: la somme des écarts négatifs par rapport à un revenu seuil ;

T : l'horizon de planification (nommé HP dans notre modèle) ;

τ : le taux d'actualisation ;

$A_{i,h}$: la matrice des coefficients techniques ;

B_t : la matrice des disponibilités en ressources qui dépendra des décisions prises à l'année $(t-1)$.

* Dans le cas de multiples produits le modèle s'écrit de la manière suivante :

$$\text{Max } F_G = \sum_{h=1}^H \left(\sum_i \sum_{t=t_0}^T \frac{C_{i,h,t} X_{i,h,t} - \phi_h \lambda_{i,h,t}}{(1+\tau)^t} \right) * N_h$$

$$\text{Avec : } F_h = \sum_i \sum_{t=t_0}^T \frac{C_{i,h,t} X_{i,h,t} - \phi_h \lambda_{i,h,t}}{(1+\tau)^t}$$

$$A_{i,h} X_{i,h,t} \leq B_t ; B_t = \sum_h \sum_i b_i X_{i,h,t-1} ; X_{i,t} \geq 0$$

* Pour notre modèle, la fonction objectif agrégée sera par conséquent :

$$\text{Max : } U_{GHP} = \sum_{h=1}^H U_{HP,h} * N_h$$

$$\text{Avec : } U_{HP,h} = \left[\sum_{n=1}^{nf=5} \frac{\bar{Z}_n - \phi \lambda_n}{(1+\tau)^{n-1}} \right]$$

$$N_h = (\text{POID}_h * \text{NBRTE})$$

U_{GHP} : utilité espérée globale ;

$U_{HP,h}$: utilité espérée individuelle³⁶ (par groupe d'exploitation) ;

N_h : nombre des exploitations par groupe ;

POID_h : poids relatif de chaque groupe d'exploitation ;

NBRTE : nombre total des exploitations dans la région.

II.2 Calcul du poids relatif à chaque groupe d'exploitations (POID_h)

Le poids des groupes est obtenu grâce à un croisement des données de la filière (Sicalait) et d'une enquête à dire d'expert. En premier lieu, nous avons confronté la classification géographique de la Sicalait à notre typologie, ce qui nous a permis d'avoir déjà une idée sur la localisation des groupes par région (tableau 4). Un expert de la filière a ensuite classé chaque exploitation dans un groupe en fonction des spécificités globales des groupes (zone, production, taille, productivité...). Le choix de cette approche expert s'explique par le fait que, dans certaines zones, comme par exemple la Plaine des Cafres, on rencontre tous les groupes et par conséquent il était très difficile de partager les exploitations entre les groupes sans avoir une bonne connaissance de la réalité des exploitations. La

³⁵ Nous appliquons toujours la méthode Target MOTAD pour modéliser le risque.

³⁶ Voir détail de cette équation dans la section précédente concernant le modèle économique d'exploitation.

comparaison des productions laitières totales réelle et estimée³⁷ pour l'année 2000, respectivement de 20.25 et 20.17 millions de litres, a validé notre approche. On obtient ainsi une classification assez homogène avec une faible marge d'erreur.

Tableau 4. Répartition de l'élevage bovin laitier et de la production laitière par région

	Plaines des Cafres	Plaines des Palmistes	Plaine des Grègues	Ouest	Total
Nombre d'élevage	70	15	51	12	148
Production (%)	53.8%	9.6%	29.4%	7.2%	100%
Groupe représenté	Tous les Groupes	Tous les Groupes	Groupes 1, 3, 4, 5	Groupes 1, 2, 4, 6	

Source : Sica-lait, 2000.

Tableau 5. Nombre d'exploitations par groupe au niveau régional (2000)

Groupe	P. Cafres	P. Grègues	H. Ouest	P. Palmistes	Nombre d'exploit.	Nombre V/Exp.	PL/V	Poids	Production totale (litres)
1	5	33	1	1	40	23	5500	27.0%	5060000
2	11		1	1	13	55	6000	8.8%	4290000
3	9	2		6	17	48	5500	11.5%	4488000
4	13	3	3	2	21	15	5500	14.2%	1732500
5	31	13		4	48	13	5500	32.4%	3432000
6	1		7	1	9	26	5000	6.1%	1170000
Total	70	51	12	15	148	-	-	100%	20172500

Source : résultats des enquêtes et Sica-lait, 2000.

Le poids relatif de chaque groupe d'exploitations pourrait être re-calculé au cours de chaque horizon de planification d'une manière endogène selon le processus de Markov afin de prendre en compte la dynamique de la typologie et inclure ainsi les changements structurels observés au niveau des exploitations.

II.3 Equations de transfert entre les exploitations types et les contraintes régionales

Les transferts qui peuvent exister entre les exploitations laitières et qui sont endogénisables dans le modèle concernent essentiellement les trois facteurs de production (la terre, le travail et les biens d'équipements) mais aussi la production fourragère (particulièrement l'ensilage). La mobilité de ces facteurs et produits entre les exploitations permet de minimiser ou annuler le biais de l'agrégation qui surévalue le profit en raison d'une surestimation de cette mobilité. Les résultats du modèle agrégé ne peuvent donc pas être identifiés à l'agrégation des résultats des modèles individuels (Hazell et Norton, 1986).

Quant aux contraintes régionales, elles sont nombreuses et concernent la disponibilité de certains facteurs de production comme le foncier, la main d'œuvre et la mécanisation, l'accès à certains produits de consommation animale comme les fourrages, le respect des enveloppes globales des aides et des quotas laitiers, le respect des normes environnementales, etc.

II.3.1 Disponibilité et transfert de la terre

A la Réunion, le foncier est devenu un objet de conflit majeur entre l'urbanisme, le tourisme et l'agriculture, mais aussi entre les différentes filières agricoles utilisatrices de l'espace (bovins laitiers,

³⁷ La production laitière totale estimée est obtenue par la somme pondérée de la production laitière des exploitation types (voir tableau 3).

bovins allaitants et canniers). Pour les éleveurs laitiers, en plus de la concurrence entre eux, l'accès au foncier entre en compétition particulièrement avec les éleveurs de type naisseur dans les Hauts et les agriculteurs canniers ou maraîchers dans les Bas. Cette situation crée de fortes tensions territoriales qui se traduisent par des demandes de plus en plus fréquentes d'installation d'élevage quasiment « hors sol ». En outre la forte urbanisation dans les Bas conduit à une importante spéculation foncière. Parallèlement, les Bas fournissent aussi un apport alimentaire indispensable à l'élevage laitier régional, que ce soit par les sous-produits de la canne (paille, bagasse, chou) ou par le foin de chloris. Ces formes de complémentarité ou de compétition posent bien sûr de nouveaux enjeux à l'échelle territoriale.

Pour modéliser l'ensemble de ces interactions, nous avons retenu les hypothèses suivantes :

- Les Bas restent à dominante agriculture, et les principales opportunités d'agrandissement ou d'installation sont situées dans les Hauts de l'Ile sur les terres publiques (l'ONF) encore non aménagées. L'accès à ces terres n'est pas équivalent pour tous les éleveurs et sera, néanmoins, fonction de la zone et du coût d'accès.
- Pour les disponibilités en terre non aménagée par zone, on se propose de les estimer avec l'UAFP et de les affecter selon leur localisation dominante et selon la concurrence avec le secteur bovin naisseur. Cette disponibilité, qui est définie à l'avance, constitue un paramètre exogène dans le modèle.
- La forme de transfert de terre (endogène au modèle) que nous avons définie est en relation directe avec la situation géographique et ne concerne que les exploitations laitières situées dans la même zone. Cette restriction est justifiée par le fait qu'il est presque impossible qu'un éleveur laitier de la Plaine de Cafres soit intéressé par une superficie libérée par un autre éleveur à la Plaine des Grègues, par exemple, et inversement. L'extension de la superficie disponible ne peut donc se faire que par l'aménagement ou la location des terres disponibles sur la même zone.
- Par zone, la somme pondérée par période des terres (labourables) reprises en fermage doit être inférieure ou égale alors à la somme pondérée des terres cédées par les autres exploitations (intra-échange), majorée par des terres publiques aménagées et affectées à l'élevage bovin lait (paramètre exogène).

$$\sum_h TLABLOU_{GF,PC,Ye,h} * N_h \leq \sum_h TLABCEDE_{GF,PC,Ye,h} * N_h + TPUBAME_{GF,PC,Ye}$$

$$\sum_h TLAFLOU_{GF,PC,Ye,h} * N_h \leq \sum_h TLAFCEDE_{GF,PC,Ye,h} * N_h + TPUBAMF_{GF,PC,Ye}$$

$$\sum_h TLADLOU_{GF,PC,Ye,h} * N_h \leq \sum_h TLADCEDE_{GF,PC,Ye,h} * N_h + TPUBAMP_{GF,PC,Ye}$$

$$TPUBAME_{GF,PC,Ye} = TPUBAMEP_{GF,PC,Ye} + TPUBAMEF_{GF,PC,Ye}$$

* TLABLOU_{Gf,PC,Ye,h} : surfaces labourables louées (reprises en fermage),

* TLABCEDE_{Gf,PC,Ye,h} : surfaces labourables cédées en location.

- * TPUBAME_{GF,PC,Ye} : terres publiques en friche aménagées et affectées à l'élevage bovin lait
- * TPUBAMEP_{GF,PC,Ye} : terres publiques aménagées pour des prairies de pâtures uniquement.
- * TPUBAMEF_{GF,PC,Ye} : terres publiques aménagées pour des prairies de fauches et/ou pâtures.
- * TLAFLOU_{Gf,PC,Ye,h} : surfaces facilement labourables louées (reprises en fermage),
- * TLAFCED_E_{Gf,PC,Ye,h} : surfaces facilement labourables cédées en location.
- * TLADLOU_{Gf,PC,Ye,h} : surfaces difficilement labourables louées (reprises en fermage),
- * TLADCED_E_{Gf,PC,Ye,h} : surfaces difficilement labourables cédées en location.

II.3.2 Disponibilité et transfert de la main d'œuvre

D'une manière générale, le marché local ou régional de la main d'œuvre peut prendre plusieurs formes : 1) offre très élastique, due à l'arrivée de la main d'œuvre extérieure dans la région pendant les saisons ; 2) offre inélastique lorsqu'elle est limitée à la main d'œuvre locale ; 3) offre plus inélastique en cas de migration de main d'œuvre vers des régions plus attractives du point de vue de l'offre du salaire et des conditions de vie, etc.

Le secteur de l'élevage à la Réunion est plutôt représentatif d'une situation d'offre de main d'œuvre inélastique malgré qu'on soit dans une région où le taux de chômage atteint les 37%. Ceci s'explique par, d'une part, la situation géographique ultra-périphérique de l'île et d'autre part la spécificité du secteur qui nécessite plutôt une main d'œuvre permanente et qualifiée. La contrainte de la main d'œuvre sera donc très active vu que l'offre régionale est pratiquement limitée. Pour estimer la disponibilité totale en main d'œuvre sur le marché local nous nous sommes basés sur l'effectif global formé chaque année par les organismes spécialisés dans le domaine (lycée agricole, centre de formation, ...). Le transfert intra-secteur de la main d'œuvre est négligeable et donc il n'est pas pris en compte dans la modélisation.

Mais contrairement à la disponibilité en terre qui est spécifiée par zone, la mobilité du facteur travail est totale et peut se faire entre les diverses zones et dans tous les sens, étant donnée la taille réduite de l'île.

II.3.3 Disponibilité et transfert des biens d'équipements

Au même titre que la main d'œuvre, le transfert intra-secteur des biens d'équipements n'est pas retenu dans la modélisation régionale. Quant à la disponibilité en équipements pour achat ou location, exprimé en nombre d'heures, elle est estimée au niveau régional (non en fonction des zones) sur la base des équipements disponibles aux niveaux des organismes publics (UAFP) et privés spécialisés dans le domaine. A priori, cette contrainte ne sera pas trop active puisque l'offre régionale est pratiquement illimitée. Ce sont les coûts horaires des équipements qui limiteront son utilisation et non les quantités disponibles.

II.3.4 Disponibilité et transfert du fourrage

Les principaux enjeux régionaux sont le partage du disponible fourrager dans un contexte où le foncier est fortement limité pour toutes les exploitations. Les principaux sous-produits échangés entre les secteurs (canne, bovins laits, bovins allaitants, ...) sont les produits de la canne (paille, chou, bagasse, mélasse), le foin de Chloris et l'ensilage. Excepté l'ensilage qui est endogénéisé dans le modèle, les disponibilités de ces sous-produits sur le marché sont estimées par les professionnels des secteurs et introduites dans le modèle comme des contraintes régionales par le biais des paramètres exogènes.

Pour les produits de la canne, leur accessibilité est à la fois fonction des surfaces cannières mécanisées et de la concurrence exercée par les autres élevages bovins sur ces ressources. Seule la bagasse dépend davantage des conditions de l'usine d'électricité.

Le foin de Chloris est devenu un véritable enjeu au niveau régional. Partant de la surface actuelle et du taux d'augmentation de cette surface sur les 5 dernières années, il s'agira de calculer un disponible au niveau régional et de faire des hypothèses sur l'élasticité des prix compte tenu de l'offre et de la demande au niveau régional.

La production d'ensilage disponible sur le marché est fonction des surplus des autres éleveurs laitiers. Il s'agit donc principalement d'un échange intra secteur. En effet, ces dernières années, l'ensilage est devenu dans certaines exploitations laitières une source de spéculation même s'il reste prioritairement destiné à l'autosatisfaction.

II.3.5 Les contraintes régionales

Les autres principales contraintes régionales retenues dans le modèle agrégé sont :

- les contraintes environnementales : le respect des conditions environnementales par une minimisation du chargement ou par un éventuel transfert du fumier ou lisier des Hauts vers les Bas constitue une préoccupation majeure pour les professionnels à la Réunion, dans un contexte qui devient de plus en plus fragile et exposé. Pour approcher cette situation deux normes environnementales globales et par type d'exploitation, d'ordres réglementaires, ont été identifiées par les professionnels et les scientifiques et seront introduites dans les modèles comme paramètres exogènes.
- Les contraintes relatives aux « enveloppes globales des aides » : les aides distribuées dans le cadre des articles 10 (ex article 6) et 11(ex article 9 bis) sont conditionnées par des enveloppes globales. Ces enveloppes qui sont connues pour les 5 prochaines années sont introduites dans le modèle agrégé comme des contraintes régionales à respecter, mais aussi comme des ressources budgétaires à répartir entre les exploitations.

Conclusion

L'approche employée, dans ce chapitre, pour la construction du modèle agrégé nous a permis d'apprécier l'intérêt, la cohérence et la complémentarité entre les deux niveaux d'analyses (individuel et global). En reflétant les comportements des éleveurs et en calculant un grand nombre d'indicateurs

individuels, les modèles d'exploitations nous facilitent la compréhension et l'anticipation de l'évolution de divers systèmes de production en fonction des modifications sur le type d'aide, la nature des aides, le niveau des prix,... Par contre, en représentant les interactions entre les exploitations et en calculant des critères économiques globaux, le modèle agrégé, une fois calibré et validé, pourrait nous aider à analyser l'offre et la demande (marché) des facteurs de productions (terre, main d'œuvre, capital) ou de certains produits (fourrages), à anticiper l'évolution des économies locales (marché de la terre, l'offre en produit lait, l'offre et la demande de fourrages) en fonction des changements des mécanismes d'intervention, et à évaluer l'équité distributive des aides et des produits fourragers (par exemple, la paille de canne) entre les exploitations.

Il est donc très important de maintenir ces deux outils (modèles) et niveaux d'analyses tout en les considérant, néanmoins, comme des objets intermédiaires et non comme des résultats en soi. Il convient, en effet, de rester modeste et de se rappeler que les modèles ne sont que des outils qui doivent rester simples d'approche, facilement compréhensibles avec des scénarios facilement interprétables. Des outils qui permettent de construire, formaliser des représentations de la réalité, à partir desquelles les acteurs peuvent rechercher un accord, élaborer un projet, un langage commun et sélectionner, négocier les solutions possibles, tout en déterminant le chemin à suivre. Il s'agit bien d'outils de réflexion permettant d'aider et de faciliter le travail dans l'élaboration d'actions collectives, et non des outils de production pour des recettes prêtes à appliquer.

L'application et la construction des modèles ne constituent donc en aucun cas un objectif en soi mais plutôt des outils utilisés pour comprendre le fonctionnement du système ou du phénomène étudié. De même, il n'existe pas de modèle unique pouvant répondre à tous les questions car chaque modèle est développé en fonction d'un objectif bien déterminé et possède son propre « avantage comparatif » (la spécification des relations économiques et la structure de chaque modèle déterminent les limites des simulations qu'ils peut effectuer ainsi que la façon dont ces simulations doivent être interprétées). Il serait également important de compléter ces analyses quantitatives par des approches plus qualitatives qui permettent une analyse plus approfondie de certains développements spécifiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITEES DANS LE TEXTE

- Alary V., 2002.** Appui à l'opération « modélisation économique des exploitations bovines à la Réunion »- Compte rendu de mission - 8-19 mai 2002.
- Alary V., Messad S., Tillard E., 2001.** Approche fonctionnelle de la diversité des systèmes d'élevage laitiers à l'Ile de la Réunion. Utilisation de l'AFM (Analyse Factorielle Multiple) comme aide à l'interprétation de la variabilité inter et intra groupe. *Renc. Rech. Ruminants*, 8, pp. 251-255.
- Alary V., Boussard J.M., 2000.** Actualisation, risque, cacao - Sur les insuffisances de la théorie. *Economie Rurale*, n°259, pp. 64-74.
- Arfini F., 2001.** Mathematical programming models employed in the analysis of the Common Agricultural Policy. *Working Paper*, INEA, Italy, p. 35.
- Arfini F., 1996.** The effects of CAP reform on two Italian regions: a positive mathematical programming application, in: What future for the CAP? Perspectives and expectations for the CAP of the European Union, ed. Ottone Ferro, pp. 103-109.
- Barbier B., Bergeron G., 1999.** - Impact of policy interventions on land management in Honduras: results of a bioeconomic model. - *Agricultural Systems*, n°59, pp 1-16.
- Barkaoui A., Butault J.P., 1998.** Modélisation de l'agriculture meusienne et Paquet Santer. *Economie rurale*, n° 248, pp. 13-20.
- Benoit-Cattin M., Reyniers F. N., 1996.** Couplage de modèles en agriculture. Montpellier : CIRAD-Cultures Annuelles, 112 p.
- Blanfort V., Thomas P., Fontaine O., Rivière E., 2000.** La gestion agroécologique des prairies, in: Mandret G. (Coordinateur), L'élevage bovin à La Réunion- Synthèse de quinze ans de recherche, CIRAD/INRA/CAH/Région Réunion, Coll. Repères, pp. 129-160.
- Boisson J.M., 1994.** - Efficacité, stabilité, équité : une nouvelle perspective pour les revenus agricoles en Europe. *Economie Rurale*, n° 220-221, pp. 218-223.
- Bortzmeyer M. 1992.** Impact de la réforme de la politique agricole commune sur les exploitations bovines de la zone charolaise. Mémoire de DEA, Université de Bourgogne, 95p.
- Boussard J.M., 1970.** - Programmation mathématique et théorie de la production agricole. - Paris : Cujas. - 251 p.
- Boussard J.M., 1987.** Economie de l'agriculture. Paris : Economica, 320 p.
- Boussard J.M., 1997.** Faut-il encore avoir des politiques agricoles ? Problèmes économiques, n°2.519, pp. 13- 17.
- Boussard J.M., Daudin J.J., 1988.** - La programmation linéaire dans les modèles de production. - Paris : Masson.
- Boussemart J.Ph., Flichman G., Jacquet F., Lefer H.B., 1997.** Prévoir les effets de la réforme de la politique agricole commune sur deux régions agricoles françaises : application d'un modèle bio-économique. *Canadien Journal of Agricultural Economics*, n°44, pp. 121-138.
- Colson F., Jacquet F., Ridier A., 1998.** Aides directes et extensification de la production. *Economie rurale*, n°247, pp. 21-30.

- Day H.R., 1961.** Recursive Programming and supply prediction. In *Agricultural Supply Functions: estimating techniques and interpretations*, eds. Heady, Baker et al, Iowa Stat University Press, pp. 108-125.
- De Benedictis M., Cosentino V., 1979.** *Economia dell'azienda agraria*, Il Mulino, Bologna.
- Deybe D., 1989.** Politique agricole et érosion des sols en Argentine: une méthodologie pour leur analyse. - Montpellier : CIHEAM- IAMM, avril 1989. - (Master of Science).
- Deybe D., 1993.** - Vers une agriculture durable: un modèle bio-économique. Paris : CIRAD. - 193p.
- Deybe D., 1998.** Can Agricultural Sector Models be a Tool for Policy Analysis? An Application for the case of Burkina Faso. *Agricultural Systems*. 58-3, pp. 367-380.
- Flichman G., 1997.** - Politiques agricoles, choix techniques, environnement: une approche par le couplage de modèles biophysiques et économiques. Thèse doctorat, Université Montpellier I : Faculté des sciences économiques.
- Flichman G., 1997.** Bio-economic models integrating agronomic, environmental and economic issues with agricultural use of water. *Options Méditerranéennes*. 31, pp. 327-336.
- Gérard F., Boussard J.M., Deybe D., 1995.** MATA : un outil d'analyse multi-niveaux pour le secteur agricole. In «Comportement micro économique et réformes macro économiques dans les pays en voie de développement ». Collection Actualité Scientifique. Paris : Aupelf-Uref, pp.347-364.
- Gohin A., Chantreuil F., 1999.** La programmation mathématique positive dans les modèles d'exploitation agricole. *Cahiers d'économie et de sociologie rurales*, n° 52, pp.60-79.
- Grimaud P., 2001.** Les rations fourragères à base de graminées dans les élevages bovins réunionnais : méthodes d'estimation de la valeur alimentaire et implications. Cirad-Emvt, Réunion, 36 p.
- Grimaud P., Coignac O., Thomas P., 1999.** Protocole de l'opération «Alimentation et amélioration des performances zootechniques en élevage bovin allaitant» Cirad-Emvt, Réunion.
- Grimaud P., Thomas P., 2002.** Diversité des rations à base de graminées et gestion des prairies en élevage bovin sur l'île de la Réunion. *Fourrages*, n°169, pp. 65-78.
- Hassoun P., Paillat J.M., Mandret G., Brunschwig P., Bigot A., Latchimy J.Y., 2000.** Les rations en élevage laitier, in: Mandret G. (Coordinateur), *L'élevage bovin à La Réunion- Synthèse de quinze ans de recherche*, CIRAD/INRA/CAH/Région Réunion, Coll. Repères, pp. 225-248.
- Hazell P.B.R., Norton R.D., 1986.** *Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture*, New York: Macmillan Publishing Co, 400p.
- Heckelei T., 1997.** Positive mathematical programming: Review of the standard approach. CAPRI Working paper, University of Bonn.
- Howitt R. E., 1995a.** Positive mathematical programming. *American Journal of Agricultural Economics*, 77, pp. 329-342.
- Jacquet F., 2000.** Le risque dans le modèle d'exploitation agricole. Montpellier, CIHEAM-IAMM, p. 12.
- Just R.E., Zilberman D., Hochman E., 1993.** Estimation of a multicrop production functions. *American Journal of Agricultural Economics*, 61, pp. 770-780.

- Kroll J. C., 1992.** La politique agricole en question : quelle alternative au soutien des prix ? *Economie rurale*, n°211, pp. 34-39.
- Lacombe Ph., 1996.** Politiques agricoles - cours de DEA, ENSA, Montpellier.
- Louhichi K., 2001.** Essai de modélisation bio-économique de la relation agriculture-environnement : le cas de l'érosion en Tunisie. Thèse doctorat, Université Montpellier I : Faculté des sciences économiques, 250p.
- Louhichi K., Alary V., Grimaud P., 2004.** A dynamic model to analyse the bio-technical and socio-economic interactions in the dairy farming systems on the Réunion Island. *Animal Research*, n° 53, pp 1-19, 2004.
- 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 Recherches Ruminants. 9, pp. 57-60.
- McCarl B.A., 1982.** Cropping activities in agricultural sector models: a methodological proposal. *American Journal of Agricultural Economics*, 64, pp. 768-771.
- ODEADOM, 1999.** Bilan du Poseidom agricole actualisation 1998. 161p.
- Paris Q., Howitt R.E., 1998.** An analyse of III-posed production problems using maximizing entropy. *American Journal of Agricultural Economics*, 80, pp. 124-138.
- Reix R., 1997.** Flexibilité (article 70). In Encyclopédie de Gestion. Edition Economica, Paris.
- Ridier A., 2001.** Changements de politique agricole et décisions des producteurs de viande bovine face au risque de marché, application dans deux régions françaises. Thèse de Doctorat, ENSA. Montpellier & Université Montpellier I, 440 p.
- Roumasset J., Boussard J.M., Singh I., 1979.** Risk, uncertainty and agricultural development, Agricultural Development Council, New-York-USA, Ed.SEARCA, p. 454.
- Schmidt Ch., -** Les néoclassiques : les théories de la décision et la théorie économique. *Cahiers Français*, n°280, pp. 49-58.
- Sicalait, 2001.** Rapport d'activité et rapport moral du conseil d'administration et comptes de l'exercice 2001. 23 p.
- Soltner D., 1991.** Tables de calcul des rations. Collection sciences et techniques agricoles, 21ème édition, 79 p.
- Sotte F., 1996.** The Regional Dimension in Agricultural Economics and policies. Quatrième séminaire de l'Association européenne des économistes agricoles. - Ancone (Italie) : università di Ancona, CNR-RAISE, 796p.
- Taché Ch., 2000.** Etude approfondie du fonctionnement des exploitations laitières à la Réunion. Mémoire de fin d'études ISTOM, 82p.
- Tauer L.W., 1983.** Target MOTAD. *American journal of Agricultural Economics*, 65, pp. 605-610.
- Taylor C.R., 1993.** Application of dynamic programming to agricultural decision problems. Boulder, Col. (USA) : West View Press. 197p.

Tillard E., Hassoun P., Nabeneza S., 1997. Protocole de l'opération «étude des facteurs de risque de l'infertilité dans les élevages laitiers de l'île de la Réunion ». Cirad-Emvt, Réunion, 14p.

Tillard E., Lanot F., Bigot C.-E., Nabeneza S., Pelot J., 2000. Les performances de reproduction en élevage laitier, in: G. Mandret G. (Coordinateur), L'élevage bovin à La Réunion- Synthèse de quinze ans de recherche, CIRAD/INRA/CAH/Région Réunion, Coll. Repères, pp. 257-292.

Veysset P., Lherm M., Hautcols J.C., 2000. Un outil d'aide à la décision dans le choix du système d'exploitation en élevage bovin allaitant. *Renc. Rech. Ruminants*, 7, pp. 325-328.

Zebus M.F., Paul J.L., 2000. From the qualitative farm system model to a simulation model: a heuristic confrontation. 4th European Symposium on European Farming and Rural Systems Research and Extension into the next Millennium: 202-211.

AUTRES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES UTILES

Barrès D., Boisson J. M., Colson F., 1999. Les mesures agri-environnementales : bilan et perspectives. *Economie rurale*, n°249, pp. 3-98.

Boulier F., Schilizzi S., 1994. Perspectives de développement de l'élevage dans le tropique sec : étude par la modélisation des systèmes de production ejidaux. In Fonctionnement des systèmes agraires Etat de Colima, Mexique. INRA-SAD, 359p.

Brossier J., Chia E., Marshall E., Petit M., 1997. Gestion de l'exploitation agricole familiale. Eléments théoriques et méthodologiques. ENESAD- CNERTA.

Cakmak E.H., Yeldan A.E. 1994. - Turkish agriculture under structural adjustment : a general equilibrium analysis. - *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales*.-1994/10-12. - n. 33, p. 34-53.

Chia E., 2000. Introduction au concept de flexibilité. Document de travail, INRA-SAD, 15p.

Choisis J.P., 2002. Flexibilité des exploitations d'élevage vis à vis des nouveaux enjeux de développement territorial à la Réunion. Cirad-Emvt, Réunion. Document interne, 12 p.

Deybe D., Castella P., 1999. Is trade devaluation the right policy after a devaluation? The case of Burkina Faso. In Dragun A.K., Tisdell C., 1999. Sustainable agriculture and environment.

Flichman G., Boussard J.M., Boussemart J.Ph., Jacquet F., Lefer H.B., 1997. Les effets de la réforme de la PAC sur les exploitations de grande culture : changements techniques et renforcement des spécialisations régionales. *Economie rurale*, n°239, pp. 20-29.

Gérard F., Boussard J.M., Deybe D., 1995. MATA : un outil d'analyse multi-niveaux pour le secteur agricole. In «Comportement micro économique et réformes macro économiques dans les pays en voie de développement ». Collection Actualité Scientifique. Paris : Aupelf-Uref, pp.347-364.

Legay J. M., 1989. L'expérience et le modèle : un discours sur la méthode. INRA. Paris, 110 p.

Louhichi K., 1999. - Un modèle bio-économique pour analyser l'impact des politiques de conservation des eaux et du sol : le cas d'une exploitation agricole tunisienne.- *Economie rurale*, n°252 Juillet-Aout 1999.

Ostergaard S., Sorensent J. T., Kristensen A. R., 2000. A Stochastic Model Simulating the Feeding-Health-Production Complex in a Dairy Herd. *Journal of Dairy Science*, vol. 83, n°4, pp. 721-733.

ANNEXES

Annexes 1 : les aides publiques à l'élevage bovin laitier à la Réunion

Annexes 2 : fiches technico-économiques des prairies retenues dans le modèle

Annexes 3 : le modèle est écrit en langage GAMS (General ALgebraic Modeling System). Celui-ci ne figure pas dans cette édition mais il peut être demandé auprès de l'auteur à cette adresse louhichi@iamm.fr.

ANNEXES 1 : LES AIDES PUBLIQUES A L'ELEVAGE BOVIN LAITIER A LA REUNION

1. Aides financées par la Région, l'Etat et l'Union Européenne

Aide à l'installation

Aide	Conditions	Montant	Fonds	Gérées
DJA	- Jeunes agriculteurs <35 ans (< 40 ans dans certains cas) affilié à l'AMEXA - qualification minimale (BTA et stage)	- Min 52 000 F - Max 235 400 F	FEOGA / Etat	CNASEA
Complémentaire DJA	- Idem DJA - attributaire de la DJA au taux maximum	- Min 26 800 F - Max 80 000 F	FEOGA / Région	CNASEA
PRCE	- Critère DJA, Titulaire d'un BPA et de 3 ans d'expérience au minimum. - Apporter au moins 10% du montant total (hors taxes : HT) - Création d'un emploi au minimum - Non cumulable avec DJA ni OVAPAL	- 40% du coût d'Inv. HT et 20% du coût HT du foncier - Plafond de 200.000F/expl	FEDER / Région	SGER
PRE	- Idem PRCEA - Exploitation agricole en création ou en extension d'activité	-Z. Hauts 40 000 F/empl -Z. Bas 20 000 F/empl -Z. inter 30 000 F/empl	FEDER / Région	SGER

Aide à l'investissement

Aide	Conditions	Montant	Fonds	Gérées
PDL (avant 2000)	- Atelier lait - Bénéficiaire AMEXA - Adhérent SICALAIT - <35 ans si installation - <50 ans si extension	- 0 à 40 vaches 9 750F/VL - 40 à 60 4875 F/VL - 60 à 80 2450 F/VL - rien au-delà de 80 - Maxi : 390 000f	FEOGA (60%) et Région (40%)	SICA-LAIT
PDL (après 2000)	- Atelier lait - Bénéficiaire AMEXA - Adhérent SICALAIT - <35 ans si installation - <50 ans si extension	- 9 750F/VL - Maxi 40 vaches : E. individuelle - Maxi 80 vaches : GAEC - Maxi : 390 000F	FEOGA (60%) et Région (40%)	SICA-LAIT
Création des prairies et d'équipements annexes dans les Hauts	- Adhérent AFP - Engagement d'entretenir et d'exploiter les prairies pendant 6ans au moins - Activité située dans les Hauts	- 75% du coût d'aménagements - 75% pour les équipements à usage collectifs - 50% pour les équipements individuels	FEOGA/ Région	Région AFP
Plan d'amélioration matérielle (PAM)	- age entre 21 et 58 ans - Agriculteur à titre principal - atteste une capacité prof.	- Immobilier 45%, mobilier 30% - près spéciaux 3.45% ou 2.75% - Plafond : 470 000 F/UTH	FEOGA/ Région	DAF/ CNASEA
Plan d'aménagement des Hauts (PAH)	- Propriétaire de la terre - Opération : améliorations foncières	- Moins de 60ha défrichés (Epierrage fin : 85% Autres travaux : 75%) - plus de 60ha défrichés (Epierrage fin : 65% Autres travaux : 50%)	Etat, FEOGA, Départ.	Région AFP
	- Propriétaire de la terre - Opération : défrichement manuel	- Forêt : 18 000F/ha - Broussailles : 12 000F/ha - Préparation de sous bois pour vanilleries : 7000F/ha	Etat, FEOGA, Départ.	Région AFP

Conservation de Génisses	- Adhérent à l'AFP ou à un groupement de producteurs - Génisses identifiées par EDE	- 1000 F par génisse à 18 mois	FEOGA Région	EDE SICA-LAIT
Aide aux bâtiments d'élevage	- Adhérent à une structure de commercialisation - Engagement d'utiliser le bâtiment au moins 7 ans	- Plus de 5 têtes - 40 à 60% des dépenses éligibles HT, selon la zone, le type d'aménagement (construction ou extension) et avec ou sans PAM	FEOGA / Etat/Région	DAF
Amélioration et régénération des prairies	- Adhérent AFP	- 50% du coût d'amélioration	Région	Région AFP
Aides au raccordement électrique (REEA)	- Travaux d'électrification réalisés sous Maîtrise d'ouvrage communale	- 80% du coût HT des travaux - Plafond 220 000 F par exploitation concernée	FEOGA et Région	DAF
Aide à la construction des retenues d'eau (V)	- Inscription AMEXA	- 70% pour $V < 1000 \text{ m}^3$ - 80% pour $1000 < V < 2000 \text{ m}^3$ - 85% pour $V > 2000 \text{ m}^3$	Région	DAF
Aide à la mécanisation agricole	- Etude technico-économique obligatoire	- individuel : 25% et plafond 50 000F - Groupes : 25% et plafond 75 000F - GAEC : 35% et plafond 120 000F - CUMA : 45% et plafond 300 000F	FEOGA CG	DAF CTM
Installation de stockage des effluents d'élevage	- Les bâtiments existants depuis plus de 3 ans et dépourvus d'installations	- 50% des dépenses - Plafond 100 000 F	Région	DAF

Aide au fonctionnement

Aide	Conditions	Montant	Fonds	Gérées
OVAPAL	- Projet d'activité valorisation/transformation de produits agricoles	- Pour études : maxi 75% - Pour investissements : maxi 50% individuel et 75% collectif, avec plafonds respectifs 500 et 750 000F.	FEOGA et Région	OVAPAL
Aides aux frais vétérinaires		-25% du coût HT des actes curatifs - 66% du coût HT des frais de déplacements	Région	DSV
Détaxe sur le gazole à usage agricole	- Adhérent à un groupement de producteurs	- Varie en fonction du montant de la taxe spéciale perçu sur la consommation de gazole - Plafond : 10 000 litres par exploitation et 100L/CV	FEOGA et Région	DAF
Aide à la tenue d'une comptabilité de gestion	- Tenue d'une comptabilité de gestion permettant son intégration dans le RICA	- 1150 F pendant 5 ans	FEOGA	DAF
ICHN (avant 2000)	- Elevage d'au moins 2 ha et 80% de la SAU dans les hauts	- UGB/ha ≤ 1 : 1180F/UGB - UGB/ha ≥ 1 : 1180F/ha - Maxi : 50ha et/ou 50 UGB	FEOGA et région (60%/40%)	DAF
ICHN (après 2000)	- Elevage d'au moins 2 ha et 80% de la SAU dans les hauts	- $0.1 \leq \text{UGB/ha} \leq 0.5$: 1062F/ha - $0.51 \leq \text{UGB/ha} \leq 0.8$: 944F/ha - $0.81 \leq \text{UGB/ha} \leq 2.5$: 1180F/ha - $2.51 \leq \text{UGB/ha} \leq 4$: 1062F/ha - $4.01 \leq \text{UGB/ha} \leq 6$: 944F/ha - $6.01 \leq \text{UGB/ha} \leq 8$: 778.8F/ha - Maxi : 50ha	FEOGA et région (60%/40%)	DAF

2. Aides financées par le POSEIDOM

Aide	Conditions	Montant	Fonds	Gérer
Aide à l'importation d'animaux reproducteurs race pure (Article 4)	- Animaux certifiés	- 6600 F/Tête	FEOGA garantie	SICALAIT
Aide au développement de la production de lait (Article 6 : avant 2000)	- Adhérent SICALAIT	- 8.45 écus/ 100kg (0.55cts/l) Max 20.000 Tonnes	FEOGA garantie	SICALAIT
Aide au développement de la production de lait (Article 10 : 2000-2006)	- Adhérent SICALAIT	- 8.45 écus/ 100kg (0.55cts/l) Max 40.000 Tonnes	FEOGA garantie	SICALAIT
Aide forfaitaire aux exploitations des Hauts (Article 9 bis: avant 2000)	- Adhérent SICALAIT - Implantées dans les Hauts	- Aide modulable en fonction d'un cahier des charges	FEOGA garantie	SICALAIT ARIBEV
Aide forfaitaire aux exploitations des Hauts (Article 11 : 2000-2006)	- Adhérent SICALAIT - Implantées dans les Hauts	- Aide modulable en fonction d'un nouveau cahier des charges	FEOGA garantie	SICALAIT ARIBEV

3. Aides financées par l'ODEADOM

Aide	Conditions	Montant	Fonds	Gérer
Aménagement des laiteries	- Livreur de SICALAIT ayant une laiterie à aménager pour plus de 15 VL	- 50% de devis préalablement agréé - Plafond 20 200 F/ laiterie (15m ²)	ODEADOM	SICALAIT
Production/ Utilisation du foin	- Mise en place de cornadis auto-bloquants	- 300 F/place (vaches et génisses)	ODEADOM	SICALAIT
Equipement d'étable (Hangar à foin)	- Adhérent SICALAIT - Stockage de foin	- 50% du plafond - Plafond : 35 000 F/ hangar à foin de 50m ²	ODEADOM Région	SICALAIT

Abréviation :

AFP : Associations foncières pastorales
AMEXA : Assurance maladie des exploitants agricoles
ARIBEV : Association réunionnaise interprofessionnelle du bétail, des viandes et du lait
CNASEA : Centre national pour l'amélioration des structures des exploitations agricoles
CTM : Commission technique de mécanisation
CUMA : Coopérative d'utilisation du matériel en commun
DAF : Direction de l'agriculture et de la forêt
DJA : Dotation jeunes agriculteurs
DOCUP : Document unique de programmation
DSV : Direction de services vétérinaires
EDE : Etablissement départemental de l'élevage
FEDER : Fonds européen de développement et d'économie rurale
FEOGA : Fonds européen d'orientation et de garantie agricoles
GAEC : Groupement agricole d'exploitation en commun
ICHN : Indemnité compensatoire aux handicaps naturels
ISM : Indemnité spéciale montagne

ODEADOM : Office de développement de l'économie agricole des départements d'outre-mer
OVAPAL : Opération de valorisation agricole des produits agricoles locaux
PAM : Plan d'amélioration du matériel de l'exploitation agricole
PDL : Plan de développement laitier
Poseidom : Programme d'option spécifique à l'éloignement et à l'insularité des départements d'outre mer
PRCE : Prime régionale à la création d'entreprise
PRE : Prime régionale à l'emploi
RICA : Réseau d'information comptable agricole
SAFER : Société d'aménagement foncier et d'établissement rural
SGER : Service de gestion et d'économie rurale
SICALAIT : Société d'intérêt collectif agricole lait
PPM : Plan de première modernisation

ANNEXES 2 : FICHES TECHNIQUE-ECONOMIQUES DES PRAIRIES RETENUES DANS LE MODELE

COÛTS D'ENTRETIEN DES PRAIRIES* ET DES CULTURES

Cultures	Période	Nbre de Coupes**	Fertilisation			Chaux			Main d'œuvre			Mécanisation***			Coût entre. (€/ha)
			Q (T)	U (€/T)	Valeur	Q (T)	U (€/T)	Valeur	h	(€/h)	Valeur	h	(€/h)	Valeur	
Kikuyu Tempérée Mixte	été (Déc-Mai)	1	0,4 (16-29-12)	417	167	0,5	317	159	6	9	57	6	18	110	492
		2	0,8 (16-29-12)	417	334	0,5	317	159	10	9	95	10	18	183	770
		3	1,2 (16-29-12)	417	500	0,5	317	159	14	9	132	14	18	256	1047
L. herbacée	hiver (Juin-Nov)	1	0,25 (30-10-10)	400	100	-	-	-	4	9	38	4	18	73	211
		2	0,50 (30-10-10)	400	200	-	-	-	8	9	76	8	18	146	422
		3	0,75 (30-10-10)	400	300	-	-	-	12	9	113	12	18	220	633
Chloris	été (Déc-Mai)	1	0,35 (16-29-12)	417	146	0,5	317	159	6	9	57	6	18	110	471
		2	0,70 (16-29-12)	417	292	0,5	317	159	10	9	95	10	18	183	728
		3	1,05 (16-29-12)	417	438	0,5	317	159	14	9	132	14	18	256	985
		4	1,40 (16-29-12)	417	584	0,5	317	159	18	9	170	18	18	329	1242
		5	1,75 (16-29-12)	417	730	0,5	317	159	22	9	208	22	18	402	1499
	hiver (Juin-Nov)	1	0,2 (30-10-10)	400	80	-	-	-	4	9	38	4	18	73	191
		2	0,4 (30-10-10)	400	160	-	-	-	8	9	76	8	18	146	382
		3	0,6 (30-10-10)	400	240	-	-	-	12	9	113	12	18	220	573
		4	0,8 (30-10-10)	400	320	-	-	-	16	9	151	16	18	293	764
		5	1,0 (30-10-10)	400	400	-	-	-	20	9	189	20	18	366	955
Canne fourragère	été (Déc-Mai)	1	0,3 (15-12-24)	377	113	0,5	317	159	5	9	47	5	18	91	410
		2	0,6 (15-12-24)	377	226	0,5	317	159	8	9	76	8	18	146	607
		3	0,9 (15-12-24)	377	340	0,5	317	159	11	9	104	11	18	201	803
	hiver (Juin-Nov)	1	0,4 (14-7-36)	357	143	-	-	-	3	9	28	3	18	55	226
		2	0,8 (14-7-36)	357	286	-	-	-	6	9	57	6	18	110	452
		3	1,2 (14-7-36)	357	429	-	-	-	9	9	85	9	18	165	679
Canne à sucre	été	0	0,8(15-12-24)	377	302	0,4	317	127	216	9	2041	-	-	-	2470
	hiver	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Source: CIRAD, UAFP, DAF, SICALAIT (2000).

* Les prairies retenues sont celles de fauches-pâtures (fauchées ou pâturées) **C'est le nombre de coupe possible et non réel

*** Sans la main d'œuvre

* Kikuyu : prairie de Kikuyu permanente

* L. herbacée : prairie association graminée légumineuse herbacé

* Tempérée : prairie tempérée temporaire (graminées tempérées ray gras-dactyle)

* Chloris : prairie Chloris

* Mixte : prairie mixte (mélange de plusieurs type de prairie notamment Kikuyu et tempérée)

* Brome : prairie de brome

COÛT DE PLANTATION ET D'ENTRETIEN ANNUEL DES PRAIRIES ET DES CULTURES (Cas de création)

Cultures	Période	Nbre de Coupes	Semence			Fertilisation			Chaux			Main d'œuvre			Mécanisation			Autre**	Coût plant (€/ha)	Aide (€/ha)
			kg	(€/kg)	Valeur	Q (T)	(€/h)	Valeur	Q (T)	(€/h)	Valeur	h	(€/h)	Valeur	h	(€/h)	Valeur			
Kikuyu	été	1	-	-	-	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	18	9	170	18	18	329	2359	3582	2576
		2	-	-	-	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	22	9	208	22	18	402	2359	3693	2576
						0,4 (16-29-12)	417	167												
	hiver	3	-	-	-	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	26	9	246	26	18	476	2359	3804	2576
						0,8 (16-29-12)	417	334												-
		1	-	-	-	0,25 (30-10-10)	400	100	-	-	-	4	9	38	4	18	73	-	211	-
Tempérée Mixte	été	2	-	-	-	0,50 (30-10-10)	400	200	-	-	-	8	9	76	8	18	146	-	422	-
		3	-	-	-	0,75 (30-10-10)	400	300	-	-	-	12	9	113	12	18	220	-	633	-
		1	40	4	177	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	18	9	170	18	18	329	2359	3759	2576
	hiver	2	40	4	177	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	22	9	208	22	18	402	2359	4036	2576
						0,4 (16-29-12)	417	167												
		3	40	4	177	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	26	9	246	26	18	476	2359	4314	2576
Brome	été					0,8 (16-29-12)	417	334												
		1	-	-	-	0,25 (30-10-10)	400	100	-	-	-	4	9	38	4	18	73	-	211	-
		2	-	-	-	0,50 (30-10-10)	400	200	-	-	-	8	9	76	8	18	146	-	422	-
	hiver	3	-	-	-	0,75 (30-10-10)	400	300	-	-	-	12	9	113	12	18	220	-	633	-
		1	60	14	814	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	18	9	170	18	18	329	2359	4396	2576
		2	60	14	814	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	22	9	208	22	18	402	2359	4673	2576
Canne fourragère	été					0,4 (16-29-12)	417	167												
		3	60	14	814	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	26	9	246	26	18	476	2359	4951	2576
						0,8 (16-29-12)	417	334												
	hiver	1	-	-	-	0,25 (30-10-10)	400	100	-	-	-	4	9	38	4	18	73	-	211	-
		2	-	-	-	0,50 (30-10-10)	400	200	-	-	-	8	9	76	8	18	146	-	422	-
		3	-	-	-	0,75 (30-10-10)	400	300	-	-	-	12	9	113	12	18	220	-	633	-
été	1	-	-	-	0,8 (15-12-24)	377	302	1	317	317	18	9	170	18	18	329	2359	3477	2576	
	2	-	-	-	1,1 (15-12-24)	377	415	1	317	317	21	9	198	21	18	384	2359	3674	2576	
	3	-	-	-	1,4 (15-12-24)	377	528	1	317	317	24	9	227	24	18	439	2359	3870	2576	
hiver	1	-	-	-	0,4 (14-7-36)	357	143	-	-	-	3	9	28	3	18	55	-	226	-	
	2	-	-	-	0,8 (14-7-36)	357	286	-	-	-	6	9	57	6	18	110	-	452	-	
	3	-	-	-	1,2 (14-7-36)	357	429	-	-	-	9	9	85	9	18	165	-	679	-	

** Sont inclus les coûts de défrichage et de l'épierrage manuel, de destruction chimique de végétation, de clôture pérenne (300ml/ha) et d'analyses de sol et des plantes

COÛT DE PLANTATION ET D'ENTRETIEN ANNUEL DES PRAIRIES ET DES CULTURES (Cas de création)

Cultures	Période	Nbre de Coupes	Semence			Fertilisation			Chaux			Main d'œuvre			Mécanisation*			Autre**	Coût plant	Aide
			kg	(€/Kg)	Valeur	Q (T)	(€/h)	Valeur	Q (T)	(€/h)	Valeur	h	(€/h)	Valeur	h	(€/h)	Valeur	(€/ha)	(€/ha)	(€/ha)
Chloris	été	1	20	18	360	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	18	9	170	18	18	329	2359	3941	2576
		2	20	18	360	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	22	9	208	22	18	402	2359	4198	2576
						0,35 (16-29-12)	417	146												
		3	20	18	360	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	26	9	246	26	18	476	2359	4455	2576
						0,7 (16-29-12)	417	292												
		4	20	18	360	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	28	9	265	28	18	512	2359	4657	2576
					1,05 (16-29-12)	417	438													
	5	20	18	360	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	32	9	302	32	18	585	2359	4914	2576	
					1,40 (16-29-12)	417	584													
		hiver	1	-	-	-	0,2 (30-10-10)	400	80	-	-	-	4	9	38	4	18	73	-	191
	2		-	-	-	0,4 (30-10-10)	400	160	-	-	-	8	9	76	8	18	146	-	382	-
	3		-	-	-	0,6 (30-10-10)	400	240	-	-	-	12	9	113	12	18	220	-	573	-
	4		-	-	-	0,8 (30-10-10)	400	320	-	-	-	16	9	151	16	18	293	-	764	-
	5		-	-	-	1,0 (30-10-10)	400	400	-	-	-	20	9	189	20	18	366	-	955	-
Canne à sucre	été	0	10	56	564	1 (15-12-24)	377	377	1	317	317	394	9	3724	34	18	622	568	6172	1448
	hiver	1				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Source: CIRAD, UAFF, DAF, SICALAIT (2000).

COÛT DE REPLANTATION ET D'ENTRETIEN ANNUEL DES PRAIRIES ET DES CULTURES (Cas d'amélioration)

Cultures	Période	Nbre de Coupes	Semence			Fertilisation			Chaux			Main d'œuvre			Mécanisation*			Autre**	Coût repl.	Aide	
			kg	(€/kg)	Valeur	Q (T)	(€/h)	Valeur	Q (T)	(€/h)	Valeur	h	(€/h)	Valeur	h	(€/h)	Valeur				(€/ha)
Tempérée Mixte	été	1	40	4	176,8	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	12	9	113	12	18	220	1517	2750	1204	
		2	40	4	176,8	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	16	9	151	16	18	293	1517	3028	1204	
						0,4 (16-29-12)	417	167													
	hiver	3	40	4	176,8	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	20	9	189	20	18	366	1517	3306	1204	
						0,8 (16-29-12)	417	334													-
		1	-	-	-	0,25 (30-10-10)	400	100	-	-	-	4	9	38	4	18	73	-	211	-	
Brome	été	2	-	-	-	0,50 (30-10-10)	400	200	-	-	-	8	9	76	8	18	146	-	422	-	
		3	-	-	-	0,75 (30-10-10)	400	300	-	-	-	12	9	113	12	18	220	-	633	-	
						0,4 (16-29-12)	417	167													
	hiver	1	60	14	814	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	12	9	113	12	18	220	1517	3388	1204	
		2	60	14	814	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	16	9	151	16	18	293	1517	3665	1204	
						0,4 (16-29-12)	417	334													-
Canne fourragère	été	1	-	-	-	0,25 (30-10-10)	400	100	-	-	-	4	9	38	4	18	73	-	211	-	
		2	-	-	-	0,50 (30-10-10)	400	200	-	-	-	8	9	76	8	18	146	-	422	-	
		3	-	-	-	0,75 (30-10-10)	400	300	-	-	-	12	9	113	12	18	220	-	633	-	
	hiver	1	-	-	-	0,8 (15-12-24)	377	302	1	317	317	12	9	113	12	18	220	1517	2469	1204	
		2	-	-	-	1,1 (15-12-24)	377	415	1	317	317	15	9	142	15	18	274	1517	2665	1204	
		3	-	-	-	1,4 (15-12-24)	377	528	1	317	317	18	9	170	18	18	329	1517	2862	1204	
Canne à sucre	été	1	-	-	-	0,4 (14-7-36)	357	143	-	-	-	3	9	28	3	18	55	-	226	-	
		2	-	-	-	0,8 (14-7-36)	357	286	-	-	-	6	9	57	6	18	110	-	452	-	
		3	-	-	-	1,2 (14-7-36)	357	429	-	-	-	9	9	85	9	18	165	-	679	-	
Canne à sucre	été	0	10	56	564	1 (15-12-24)	377	377	1	317	317	394	9	3724	34	18	622	368	5972	1448	
	hiver	1				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Source: CIRAD, UAFF, DAF, SICALAIT (2000).

* Sans la main d'œuvre

** Sont inclus les coûts de l'éperrage manuel, de destruction chimique de végétation, de clôture pérenne (300ml/ha) et d'analyses de sol et des plantes

COÛT DE REPLANTATION ET D'ENTRETIEN ANNUEL DES PRAIRIES ET DES CULTURES (Cas d'amélioration)

Cultures	Période	Nbre de Coupes	Semence			Fertilisation			Chaux			Main d'œuvre			Mécanisation*			Autre**	Coût repl.	Aide	
			kg	(€/Kg)	Valeur	Q (T)	(€/h)	Valeur	Q (T)	(€/h)	Valeur	h	(€/h)	Valeur	h	(€/h)	Valeur				(€/ha)
Chloris	été	1	20	18	359,8	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	12	9	113	12	18	220	1517	2933	1204	
		2	20	18	359,8	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	16	9	151	16	18	293	1517	3190	1204	
						0,35 (16-29-12)	417	146													
		3	20	18	359,8	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	20	9	189	20	18	366	1517	3447	1204	
						0,7 (16-29-12)	417	292													
		4	20	18	359,8	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	24	9	227	24	18	439	1517	3704	1204	
					1,05 (16-29-12)	417	438														
	5	20	18	359,8	1 (10-20-20)	406	406	1	317	317	28	9	265	28	18	512	1517	3961	1204		
					1,40 (16-29-12)	417	584														
		hiver	1	-	-	-	0,2 (30-10-10)	400	80	-	-	-	4	9	38	4	18	73	-	191	-
	2		-	-	-	0,4 (30-10-10)	400	160	-	-	-	8	9	76	8	18	146	-	382	-	
	3		-	-	-	0,6 (30-10-10)	400	240	-	-	-	12	9	113	12	18	220	-	573	-	
	4		-	-	-	0,8 (30-10-10)	400	320	-	-	-	16	9	151	16	18	293	-	764	-	
	5		-	-	-	1,0 (30-10-10)	400	400	-	-	-	20	9	189	20	18	366	-	955	-	

Source: CIRAD, UAFP, DAF, SICALAIT (2000).

FICHE TECHNIQUE-ÉCONOMIQUE DES PRAIRIES ET DES CULTURES : EN CAS D'ENTRETIEN

Prairies	Produits	Période	Nbre de	Coût entre.	Rendement	Coût/TMS
			Coupes	(€/ha)	(TMS/ha)	Euro
Kikuyu	Vert	été	1	492	7,95	1,44
			2	770	8,84	2,02
			3	1047	9,00	2,70
		hiver	1	211	4,86	1,01
			2	422	5,42	1,81
			3	633	5,50	2,67
	Ensilage	été	1	492	10,00	1,14
			2	770	10,00	1,79
			3	1047	10,00	2,43
		hiver	1	211	9,24	0,53
			2	422	9,24	1,06
			3	633	9,24	1,59
Tempérée	Vert	été	1	492	11,05	1,03
			2	770	11,94	1,50
			3	1047	12,60	1,93
		hiver	1	211	3,86	1,27
			2	422	4,42	2,22
			3	633	4,50	3,27
	Ensilage	été	1	492	10,00	1,14
			2	770	10,00	1,79
			3	1047	10,00	2,43
		hiver	1	211	9,24	0,53
			2	422	9,24	1,06
			3	633	9,24	1,59
Mixte	Vert	été	1	492	9,50	1,20
			2	770	10,39	1,72
			3	1047	11,65	2,09
		hiver	1	211	4,36	1,12
			2	422	4,92	1,99
			3	633	5,50	2,67
	Ensilage	été	1	492	10,00	1,14
			2	770	10,00	1,79
			3	1047	10,00	2,43
		hiver	1	211	9,24	0,53
			2	422	9,24	1,06
			3	633	9,24	1,59
Brome	Vert	été	1	492	11,05	1,03
			2	770	11,94	1,50
			3	1047	12,60	1,93
		hiver	1	211	3,86	1,27
			2	422	4,42	2,22
			3	633	4,50	3,27
	Ensilage	été	1	492	10,00	1,14
			2	770	10,00	1,79
			3	1047	10,00	2,43
		hiver	1	211	9,24	0,53
			2	422	9,24	1,06
			3	633	9,24	1,59

Source: CIRAD, UAFP, DAF, SICALAIT (2000).

FICHE TECHNIQUE-ÉCONOMIQUE DES PRAIRIES ET DES CULTURES : EN CAS D'ENTRETIEN

Prairies	Produits	Période	Nbre de Coupes	Coût entre.	Rendement	Coût/TMS	
				(€/ha)	(TMS/ha)	Euro	
Chloris	Vert	été	1	471	11,00	0,99	
			2	728	12,00	1,41	
			3	985	12,20	1,88	
			4	1242	13,50	2,14	
			5	1499	15,10	2,31	
		hiver	1	191	7,10	0,63	
			2	382	7,30	1,22	
			3	573	7,50	1,78	
			4	764	8,00	2,22	
			5	955	8,30	2,67	
	foin	été	1	471	14,00	0,78	
			2	728	14,00	1,21	
			3	985	14,00	1,63	
			4	1242	14,00	2,06	
			5	1499	14,00	2,49	
		hiver	1	191	12,00	0,37	
			2	382	12,00	0,74	
			3	573	12,00	1,11	
			4	764	12,00	1,48	
			5	955	12,00	1,85	
	Ensilage	été	1	471	14,75	0,74	
			2	728	14,75	1,15	
			3	985	14,75	1,55	
			4	1242	14,75	1,96	
			5	1499	14,75	2,36	
hiver		1	191	12,25	0,36		
		2	382	12,25	0,72		
		3	573	12,25	1,09		
		4	764	12,25	1,45		
		5	955	12,25	1,81		
Canne Fourragère	Vert	été	1	410	11,05	0,86	
			2	607	11,94	1,18	
			3	803	12,60	1,48	
	hiver		1	226	3,86	1,36	
			2	452	4,42	2,38	
			3	679	4,50	3,50	
Canne à sucre	entier	été	0	2470	-	0,96	
		hiver	1	-	60,00		
Herbacée	Vert	été	1	492	7,95	1,44	
			2	770	8,84	2,02	
			3	1047	9,00	2,70	
		hiver		1	211	4,86	1,01
				2	422	5,42	1,81
				3	633	5,50	2,67
	Ensilage	été		1	492	10,00	1,14
				2	770	10,00	1,79
				3	1047	10,00	2,43
		hiver		1	211	9,24	0,53
				2	422	9,24	1,06
				3	633	9,24	1,59

Source: CIRAD, UAFP, DAF, SICALAIT (2000).

FICHE TECHNIQUE-ÉCONOMIQUE DES PRAIRIES ET DES CULTURES : EN CAS DE PLANTATION

Prairies	Produits	Période	Nbre de	Coût plant	Aide	Rendement*	Coût fauche+transpor		Coût total	UFL	
			Coupes	(€/ha)	(€/ha)	(TMS/ha)	(h/TMS)	Unité	Valeur	(€/ha)	(/kgMS)
Kikuyu	Vert	été	1	3582	2576	9,94	0,425	28	117	3699	0,31
			2	3693	2576	11,05	0,475	28	146	3838	0,57
			3	3804	2576	11,25	0,575	28	179	3983	0,65
		hiver	1	211	-	6,08	0,425	28	72	283	0,35
			2	422	-	6,78	0,475	28	89	511	0,65
			3	633	-	6,88	0,575	28	110	743	0,74
	Ensilage	été	1	3582	2576	12,50	0,484	28	168	3750	0,4
			2	3693	2576	12,50	0,541	28	188	3880	0,65
			3	3804	2576	12,50	0,655	28	227	4031	0,65
		hiver	1	211	-	11,55	0,484	28	155	366	0,4
			2	422	-	11,55	0,541	28	173	595	0,65
			3	633	-	11,55	0,655	28	210	843	0,65
Tempérée	Vert	été	1	3759	2576	13,81	0,425	28	163	3921	0,5
			2	4036	2576	14,93	0,475	28	197	4233	0,7
			3	4314	2576	15,75	0,575	28	251	4565	0,74
		hiver	1	211	-	4,83	0,425	28	57	268	0,55
			2	422	-	5,53	0,475	28	73	495	0,79
			3	633	-	5,63	0,575	28	90	723	0,83
	Ensilage	été	1	3759	2576	12,50	0,484	28	168	3926	0,45
			2	4036	2576	12,50	0,541	28	188	4224	0,71
			3	4314	2576	12,50	0,655	28	227	4541	0,71
		hiver	1	211	-	11,55	0,484	28	155	366	0,45
			2	422	-	11,55	0,541	28	173	595	0,71
			3	633	-	11,55	0,655	28	210	843	0,71
Mixte	Vert	été	1	3759	2576	11,88	0,425	28	140	3899	0,45
			2	4036	2576	12,99	0,475	28	171	4207	0,65
			3	4314	2576	14,56	0,575	28	232	4546	0,69
		hiver	1	211	-	5,45	0,425	28	64	275	0,5
			2	422	-	6,15	0,475	28	81	503	0,7
			3	633	-	6,88	0,575	28	110	743	0,78
	Ensilage	été	1	3759	2576	12,50	0,484	28	168	3926	0,4
			2	4036	2576	12,50	0,541	28	188	4224	0,7
			3	4314	2576	12,50	0,655	28	227	4541	0,7
		hiver	1	211	-	11,55	0,484	28	155	366	0,4
			2	422	-	11,55	0,541	28	173	595	0,7
			3	633	-	11,55	0,655	28	210	843	0,7
Brome	Vert	été	1	4396	2576	13,81	0,425	28	163	4559	0,55
			2	4673	2576	14,93	0,475	28	197	4870	0,99
			3	4951	2576	15,75	0,575	28	251	5202	0,99
		hiver	1	211	-	4,83	0,425	28	57	268	0,55
			2	422	-	5,53	0,475	28	73	495	0,99
			3	633	-	5,63	0,575	28	90	723	0,99
	Ensilage	été	1	4396	2576	12,50	0,484	28	168	4564	0,6
			2	4673	2576	12,50	0,541	28	188	4861	0,71
			3	4951	2576	12,50	0,655	28	227	5178	0,71
		hiver	1	211	-	11,55	0,484	28	155	366	0,6
			2	422	-	11,55	0,541	28	173	595	0,71
			3	633	-	11,55	0,655	28	210	843	0,71

Source: CIRAD, UAFP, DAF, SICALAIT (2000).

* On suppose qu'il y a une augmentation d'environ 25% des rendements dans le cas d'une plantation

FICHE TECHNIQUE-ÉCONOMIQUE DES PRAIRIES ET DES CULTURES : EN CAS DE PLANTATION

Cultures	Produits	Période	Nbre de	Coût plant	Aide	Rendement	Coût fauche		Coût total	UFL	
			Coupes	(€/ha)	(€/ha)	(TMS/ha)	(h/TMS)	Valeur	(€/ha)	(/kgMS)	
Chloris	Vert	été	1	3941	2576	13,75	0,425	28	162	4104	0,35
			2	4198	2576	15,00	0,475	28	198	4396	0,73
			3	4455	2576	15,25	0,575	28	243	4699	0,85
			4	4657	2576	16,88	0,425	28	199	4856	0,92
			5	4914	2576	18,88	0,475	28	249	5162	0,96
		hiver	1	191	-	8,88	0,425	28	105	296	0,30
			2	382	-	9,13	0,475	28	120	502	0,71
			3	573	-	9,38	0,575	28	150	723	0,83
			4	764	-	10,00	0,425	28	118	882	0,90
			5	955	-	10,38	0,475	28	137	1092	0,94
	foin	été	1	3941	2576	17,50	0,569	28	276	4218	0,35
			2	4198	2576	17,50	0,636	28	309	4507	0,60
			3	4455	2576	17,50	0,77	28	374	4829	0,69
			4	4657	2576	17,50	0,804	28	390	5047	0,76
			5	4914	2576	17,50	0,837	28	406	5320	0,79
		hiver	1	191	-	15,00	0,569	28	237	428	0,30
			2	382	-	15,00	0,636	28	265	647	0,60
			3	573	-	15,00	0,77	28	320	893	0,69
			4	764	-	15,00	0,804	28	335	1099	0,76
			5	955	-	15,00	0,837	28	348	1303	0,79
	Ensilage	été	1	3941	2576	18,44	0,484	28	248	4189	0,35
			2	4198	2576	18,44	0,541	28	277	4475	0,67
			3	4455	2576	18,44	0,655	28	335	4790	0,78
			4	4657	2576	18,44	0,684	28	350	5007	0,85
			5	4914	2576	18,44	0,712	28	364	5278	0,89
hiver		1	191	-	15,31	0,484	28	206	397	0,30	
		2	382	-	15,31	0,541	28	230	612	0,67	
		3	573	-	15,31	0,655	28	278	851	0,78	
		4	764	-	15,31	0,684	28	291	1055	0,85	
		5	955	-	15,31	0,712	28	302	1258	0,89	
Canne Fourragère	Vert	été	1	3477	2576	13,81	0,212	28	81	3559	0,35
			2	3674	2576	14,93	0,237	28	98	3772	0,67
			3	3870	2576	15,75	0,287	28	125	3996	0,78
	hiver	1	226	-	4,83	0,212	28	28	255	0,35	
		2	452	-	5,53	0,237	28	36	489	0,67	
		3	679	-	5,63	0,287	28	45	723	0,78	
Canne à sucre	entier	été	0	5972	1448	-	-	-	-	39143	-
		hiver	1	-	-	75,00	0,55	182	7508	7508	-

Source: CIRAD, UAFP, DAF, SICALAIT (2000).

FICHE TECHNIQUE-ÉCONOMIQUE DES PRAIRIES ET DES CULTURES : EN CAS DE REPLANTATION

Prairies	Produits	Période	Nbre de	Coût repl.	Aide	Rendement*	Coût fauche+transpor		Coût total	UFL	
			Coupes	(€/ha)	(€/ha)	(TMS/ha)	(h/TMS)	Valeur	(€/ha)	(/kgMS)	
Tempérée	Vert	été	1	2750	1204	13,81	0,425	28	163	2913	0,5
			2	3028	1204	14,93	0,475	28	197	3225	0,7
			3	3306	1204	15,75	0,575	28	251	3557	0,74
		hiver	1	211	-	4,83	0,425	28	57	268	0,55
			2	422	-	5,53	0,475	28	73	495	0,79
			3	633	-	5,63	0,575	28	90	723	0,83
	Ensilage	été	1	2750	1204	12,50	0,484	28	168	2918	0,45
			2	3028	1204	12,50	0,541	28	188	3216	0,71
			3	3306	1204	12,50	0,655	28	227	3533	0,71
		hiver	1	211	-	11,55	0,484	28	155	366	0,45
			2	422	-	11,55	0,541	28	173	595	0,71
			3	633	-	11,55	0,655	28	210	843	0,71
Mixte	Vert	été	1	2750	1204	11,88	0,425	28	140	2890	0,45
			2	3028	1204	12,99	0,475	28	171	3199	0,65
			3	3306	1204	14,56	0,575	28	232	3538	0,69
		hiver	1	211	-	5,45	0,425	28	64	275	0,5
			2	422	-	6,15	0,475	28	81	503	0,7
			3	633	-	6,88	0,575	28	110	743	0,78
	Ensilage	été	1	2750	1204	12,50	0,484	28	168	2918	0,4
			2	3028	1204	12,50	0,541	28	188	3216	0,7
			3	3306	1204	12,50	0,655	28	227	3533	0,7
		hiver	1	211	-	11,55	0,484	28	155	366	0,4
			2	422	-	11,55	0,541	28	173	595	0,7
			3	633	-	11,55	0,655	28	210	843	0,7
Brome	Vert	été	1	3388	1204	13,81	0,425	28	163	3550	0,55
			2	3665	1204	14,93	0,475	28	197	3862	0,99
			3	3943	1204	15,75	0,575	28	251	4194	0,99
		hiver	1	211	-	4,83	0,425	28	57	268	0,55
			2	422	-	5,53	0,475	28	73	495	0,99
			3	633	-	5,63	0,575	28	90	723	0,99
	Ensilage	été	1	3388	1204	12,50	0,484	28	168	3555	0,6
			2	3665	1204	12,50	0,541	28	188	3853	0,71
			3	3943	1204	12,50	0,655	28	227	4170	0,71
		hiver	1	211	-	11,55	0,484	28	155	366	0,6
			2	422	-	11,55	0,541	28	173	595	0,71
			3	633	-	11,55	0,655	28	210	843	0,71

Source: CIRAD, UAFP, DAF, SICALAIT (2000).

* On suppose qu'il y a une augmentation d'environ 25% des rendements dans le cas d'une replantation (amélioration)

FICHE TECHNIQUE-ÉCONOMIQUE DES PRAIRIES ET DES CULTURES : EN CAS DE REPLANTATION

Cultures	Produits	Période	Nbre de	Coût repl.	Aide	Rendement	Coût fauche		Coût total	UFL	
			Coupes	(€/ha)	(€/ha)	(TMS/ha)	(h/TMS)	Valeur	(€/ha)	(/kgMS)	
Chloris	Vert	été	1	2933	1204	13,75	0,425	28	162	3095	0,35
			2	3190	1204	15,00	0,475	28	198	3388	0,73
			3	3447	1204	15,25	0,575	28	243	3690	0,85
			4	3704	1204	16,88	0,425	28	199	3903	0,92
			5	3961	1204	18,88	0,475	28	249	4210	0,96
		hiver	1	191	-	8,88	0,425	28	105	296	0,30
			2	382	-	9,13	0,475	28	120	502	0,71
			3	573	-	9,38	0,575	28	150	723	0,83
			4	764	-	10,00	0,425	28	118	882	0,90
			5	955	-	10,38	0,475	28	137	1092	0,94
	foin	été	1	2933	1204	17,50	0,569	28	276	3209	0,35
			2	3190	1204	17,50	0,636	28	309	3499	0,60
			3	3447	1204	17,50	0,77	28	374	3821	0,69
			4	3704	1204	17,50	0,804	28	390	4094	0,76
			5	3961	1204	17,50	0,837	28	406	4367	0,79
		hiver	1	191	-	15,00	0,569	28	237	428	0,30
			2	382	-	15,00	0,636	28	265	647	0,60
			3	573	-	15,00	0,77	28	320	893	0,69
			4	764	-	15,00	0,804	28	335	1099	0,76
			5	955	-	15,00	0,837	28	348	1303	0,79
Ensilage	été	1	2933	1204	18,44	0,484	28	248	3181	0,35	
		2	3190	1204	18,44	0,541	28	277	3467	0,67	
		3	3447	1204	18,44	0,655	28	335	3782	0,78	
		4	3704	1204	18,44	0,684	28	350	4054	0,85	
		5	3961	1204	18,44	0,712	28	364	4325	0,89	
	hiver	1	191	-	15,31	0,484	28	206	397	0,30	
		2	382	-	15,31	0,541	28	230	612	0,67	
		3	573	-	15,31	0,655	28	278	851	0,78	
		4	764	-	15,31	0,684	28	291	1055	0,85	
		5	955	-	15,31	0,712	28	302	1258	0,89	
Canne Fourragère	Vert	été	1	2469	1204	13,81	0,212	28	81	2550	0,35
			2	2665	1204	14,93	0,237	28	98	2764	0,67
			3	2862	1204	15,75	0,287	28	125	2987	0,78
	hiver	1	226	-	4,83	0,212	28	28	255	0,35	
		2	452	-	5,53	0,237	28	36	489	0,67	
		3	679	-	5,63	0,287	28	45	723	0,78	
Canne à sucre	entier	été	0	910	1448	-	-	-	-	39143	-
		hiver	1	-	-	75,00	0,55	28	1144	1144	-

Source: CIRAD, UAFP, DAF, SICALAIT (2000).