

CENTRE INTERNATIONAL D'ETUDES SUPERIEURES EN SCIENCES
AGRONOMIQUES (Montpellier SupAgro)

ECOLE DOCTORALE SIBAGHE
(Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosociences et Environnement)

THESE

pour l'obtention du titre de

DOCTEUR de Montpellier SupAgro

Discipline : Ecosystèmes

Jennifer BERNARD

***Conception de systèmes de production innovants
dans une dynamique d'intensification laitière
Cas des exploitations de polyculture-élevage relevant des
périmètres de la réforme agraire dans le municiple d'Unaí-
MG, Brésil***

Thèse dirigée par **Charles-Henri MOULIN** et codirigée par **Pierre-Yves LE GAL**

présentée et soutenue publiquement le 21 décembre 2010

Devant le jury :

Benoît DEDIEU, Directeur de recherche, INRA

Michel MARIE, Maître de conférences, ENSAIA, INPL-Nancy

François BOCQUIER, Professeur, Montpellier SupAgro

Charles-Henri MOULIN, Docteur, Montpellier SupAgro

Rapporteur

Rapporteur

Président

Directeur de thèse

The conception of innovative production systems in the context of dairy intensification – The case study of crop and livestock integrated farms in the agrarian reform settlements of the Municipal District of Unaí-MG, Brazil

Dairy farmers have to manage complex and mixed-farming systems. In the moving context of the agricultural sector, methods of conception of production systems must be renewed and fit the diversity of farmers conditions. The co-conception of production systems with farmers is the approach we want to defend. Whole-farm models help to picture the farming system's complexity but their use as advising services' tools raises questions in terms of model design choices. This PhD proposes an approach of advising services based on the use of a simulation whole-farm model to help farmers in designing their livestock strategies. The model design is based on the analysis of six dairy farms that constitute our study sample. We present three case-studies about the use of our model with dairy farmers. The case-studies give us insight about the capacity of the model's outcomes to generate debates with farmers about their own projects.

Keywords: smallholder farm, production system, model, simulation tool, advice, Brazil

Conception de systèmes de production innovants dans une dynamique d'intensification laitière - Cas des exploitations de polyculture-élevage relevant des périmètres de la réforme agraire dans le municpe d'Unaí-MG, Brésil

Les éleveurs laitiers gèrent des systèmes complexes combinant production animale et production végétale. Dans un contexte d'évolutions rapides, les démarches de conception de systèmes de production doivent être renouvelées, et répondre à la diversité des situations des exploitations agricoles. La co-conception de systèmes innovants avec les producteurs eux-mêmes se présente comme une démarche intéressante. Les modèles d'exploitation permettent de représenter la complexité du système, mais leur utilisation comme outil d'accompagnement interroge les choix de développement. Ce travail propose une démarche d'accompagnement basée sur l'utilisation d'un modèle de simulation pour appuyer les réflexions de l'éleveur sur ses stratégies d'élevage. Les choix de développement s'appuient sur l'analyse du fonctionnement d'un échantillon de six exploitations. Trois exemples d'utilisation du modèle avec les producteurs sont présentés. Ils montrent comment les résultats du modèle alimentent la discussion autour du projet de l'éleveur.

Mots-clés: petite exploitation, système de production, modèle, outil de simulation, conseil, Brésil

Concepção de sistemas de produção inovadores numa dinâmica de intensificação leiteira – Um estudo de caso dos estabelecimentos agropecuários em assentamentos do município de Unaí-MG, Brasil

Os produtores de leite manejam sistemas complexos, combinando produção animal e produção vegetal. Num contexto de evoluções rápidas, os métodos de concepção de sistemas de produção precisam ser renovados e considerar a diversidade de situações dos estabelecimentos agropecuários. A co-concepção de sistemas inovadores com os produtores apresenta-se como uma abordagem interessante. Os modelos de simulação permitem representar a complexidade do sistema, mas sua utilização como ferramenta de acompanhamento questiona as escolhas de implementação. Esse trabalho propõe um método de acompanhamento baseado na utilização de um modelo de simulação para apoiar a reflexão dos produtores sobre suas estratégias. As escolhas de implementação baseiam-se na análise do funcionamento de uma amostra de seis estabelecimentos. Três exemplos de uso do modelo com os produtores estão apresentados. Eles mostram como os resultados fornecidos pelo modelo estimulam a discussão com o produtor sobre o seu projeto.

Palavras-chave: agricultura familiar, pequena propriedade, sistema de produção, modelo, ferramenta de simulação, acompanhamento, Brasil

Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier mes directeurs de thèse Charles-Henri Moulin et Pierre-Yves Le Gal pour m'avoir permis de mener ce travail de thèse. Ils ont été très présents tout au long de cette expérience, et m'ont permis de ne pas m'égarer. J'ai beaucoup appris de leurs innombrables conseils, sur les plans théorique et méthodologique.

Je remercie Bernard Triomphe pour m'avoir relancée à l'époque des candidatures, et pour son rôle dans l'articulation entre mon travail et le projet Unaí. Je retiendrai sa bonne humeur et ses plaisanteries toujours lancées à bon escient.

J'adresse toute ma reconnaissance à Benoît Dedieu, Michel Marie, François Bocquier qui m'ont fait l'honneur de participer au jury de soutenance.

Mes remerciements vont aux membres du comité de pilotage, Nathalie Hostiou, François Affholder et Marcelo Nascimento de Oliveira, pour leur disponibilité et leur réactivité, lorsqu'il s'agissait de m'aiguiller sur leurs thématiques respectives. Un grand merci également à Nathalie Cialdella pour les échanges, désintéressés et passionnés, autour de mon sujet ; à Pierre Bommel et Michel Passouant pour leurs conseils sur la partie modélisation ; à François Grison pour les évocations philosophiques.

Muito obrigada à tous les collègues brésiliens ou francophones du projet Unaí, Marcelo Nascimento de Oliveira, José Humberto Valadares Xavier, Suênia Cibeli Ramos de Almeida, Fernando Antônio Macena da Silva, José Carlos Costa Gonçalves Rocha, Eric Scopel et Marc Corbeels pour leur accueil chaleureux et leur appui sur le terrain brésilien. J'ai également eu le plaisir de trouver une aide précieuse sur des sujets connexes à ma thématique auprès de Roberto Guimarães Jr. et Robelio Leandro Marchão de l'Embrapa Cerrados.

Un immense merci à Davi de Jesus Soaris da Silva pour son investissement sans faille dans l'organisation des activités que j'ai menées à Unaí. Mes séjours à Unaí n'auraient pas été si agréables sans sa parfaite connaissance du terrain et sa sympathie. Merci également à Maria da Conceição Silva Soares pour le travail minutieux qu'elle a conduit auprès des producteurs lors de mes séjours en France.

Je remercie également les partenaires du projet Unaí, membres de la CAPUL, du STR, de l'EMATER et de la FACTU qui ont toujours répondu présents à mes sollicitations.

Je tiens à remercier chaleureusement les producteurs d'Unaí qui m'ont consacré un temps précieux. C'est avec une grande patience qu'ils ont répondu à mes questions, m'ont fait découvrir leurs exploitations et leurs modes de vie.

Enfin, je souhaite remercier toutes les personnes qui ont partagé mon quotidien et m'ont soutenue pendant ces trois années. Merci à la famille Primo pour m'avoir adoptée dans ce

pays nouveau si loin de ma maison. Merci à Davi et Alessandra qui m'ont accueillie sous leur toit en vrais *mineiros*. Merci à Alpha, Amandine, Etienne et Marie-Anne, doctorants ou stagiaires à Unai, pour les moments conviviaux passés en leur compagnie rue Santos Dumont. Merci aux Tibétains et aux taureaux rouges qui ont su entretenir ma motivation. Merci à mes amis, à Juliana, Benoît et Marie qui connaissent les épreuves par lesquelles passe tout doctorant. Un grand merci à Anna et Solveig qui ont partagé, aux premières loges, les bons moments de cette aventure comme les plus difficiles, et n'ont jamais failli. Merci à ma famille, qui m'a toujours manifesté son soutien.

Avant-propos

Financement

Cette thèse a été cofinancée par Montpellier SupAgro (Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques) et le CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement).

Laboratoire d'accueil

Le laboratoire d'accueil de cette thèse est l'UMR 951 Innovation (Innovation et Développement dans l'Agriculture et l'Agroalimentaire).



UMR Innovation

Montpellier SupAgro, INRA

Campus de la Gaillarde

2 place Viala

34060 Montpellier cedex 1

France

Tel. : +33 4 99 61 27 40 / +33 4 99 61 25 57

Fax : +33 4 67 54 58 43

CIRAD

TA C-85/15

73 rue Jean-François Breton

34398 Montpellier Cedex 5

France

Tel. : +33 4 67 61

Fax : + 33 4 67 61 44 25

Publications

Cette thèse a donné lieu à deux communications et deux publications dans des revues à facteur d'impact, l'une publiée online et l'autre en cours de soumission.

Communications dans des congrès à comité de lecture

Bernard, J., Le Gal, P.Y., Triomphe, B., Hostiou, N., Moulin, C.H., 2009. Modèle standard de production et diversité des évolutions de petites exploitations démarrant l'activité laitière pour fournir une agro-industrie en milieu tropical, Rencontres Recherche Ruminants. Institut de l'élevage, Paris, France.

Bernard, J., Le Gal, P.Y., Triomphe, B., Hostiou, N., Moulin, C.H., 2010. Between mainstream production model and diversity of farm evolution: towards a tool to develop individual solutions, Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food, Montpellier, France.

Publications dans des revues à facteur d'impact

Bernard, J., Le Gal, P.Y., Triomphe, B., Hostiou, N., Moulin, C.H., 2010. Involvement of small-scale dairy farms in an industrial supply chain: when production standards meet farm diversity Animal Published online: 15 Dec 2010.

Bernard, J., Le Gal, P.Y., Moulin, C.H., 2010. DairyMoTion, a whole dairy farm model to support farmers in exploring innovative production strategies. Agricultural Systems under review.

Table des matières

Remerciements	5
Avant-propos.....	7
Table des matières.....	9
Liste des figures.....	13
Liste des tableaux.....	15
Liste des abréviations	17
Glossaire.....	19
Introduction générale	21
Chapitre 1 : Problématique scientifique.....	23
I. Conception de systèmes agricoles	23
II. L'exploitation laitière	24
III. Modélisation des exploitations	25
IV. Accompagnement des producteurs	27
V. Question de recherche	28
Chapitre 2 : Zone d'étude et dispositif de recherche.....	29
I. La zone d'étude	29
1. L'agriculture brésilienne.....	29
2. Le choix d'Unaí.....	30
2.1. Le projet Unaí, démarche de recherche-développement pour appuyer le développement de l'agriculture familiale	30
2.2. La dynamique d'intensification laitière	33
3. Description de la zone d'étude	34
3.1. Caractéristiques pédoclimatiques.....	34
3.2. L'organisation du bassin laitier	35
3.2.1. La collecte	35
3.2.2. Le paiement du lait	36
3.2.3. Les services de conseil au petit producteur.....	37

3.2.3.1. Le département technique de la coopérative	37
3.2.3.2. L'EMATER-MG	37
3.2.3.3. Le programme Balde Cheio	38
II. Démarche méthodologique.....	38
1. Analyse des opérateurs en relation avec les exploitations laitières.....	39
2. Comprendre le fonctionnement des exploitations laitières	41
2.1. Choix des exploitations.....	41
2.2. Protocole de suivi des exploitations.....	41
3. Développement de DairyMoTion	43
3.1. Une première application utilisée au Maroc.....	44
3.2. Développement de DairyMoTion	44
4. Elaboration et test de la démarche d'accompagnement.....	45
Chapitre 3 : Analyse des systèmes de production	47
I. Introduction	47
II. Involvement of small-scale dairy farms in an industrial supply chain: when production standards meet farm diversity.....	47
Abstract.....	47
Implications	48
1. Introduction.....	48
2. Material and methods	49
2.1. Context	49
2.2. Case-study methodology and farm sampling.....	50
2.3. Data collection	51
2.4. Data analysis	52
3. Results.....	52
3.1. A mainstream production model.....	52
3.2. Actions in the farmers' environment to facilitate the spread of the benchmark.....	54
3.3. Comparison of farms with the benchmark	54
3.4. Farm dynamics and farmers' strategies.....	62
4. Discussion	64

5. Conclusion.....	67
Acknowledgements.....	68
Chapitre 4 : Conception, développement et test du modèle DairyMoTion.....	69
I. Introduction.....	69
II. DairyMoTion, un modèle de simulation de l'exploitation laitière pour accompagner les éleveurs dans la construction de stratégies de production innovantes.....	69
Résumé.....	70
1. Introduction.....	70
2. Description du modèle.....	72
2.1. Objectif.....	72
2.2. Architecture générale.....	73
2.3. Composantes et boucle de simulation.....	75
2.3.1. Module Troupeau.....	75
2.3.2. Module Pâturage et Fourrage.....	78
2.3.3. Module Alimentation.....	79
2.3.4. Module Résultats de simulation.....	80
2.4. Structure et collecte des données d'entrée.....	81
3. Utilisation du modèle.....	84
3.1. Contexte.....	84
3.2. La démarche d'accompagnement.....	86
3.3. Expérimentation de la démarche auprès de trois exploitations.....	89
3.3.1. Redimensionnement de l'atelier lait (cas 1).....	89
3.3.2. Modification du système fourrager (cas 2).....	92
3.3.3. Dynamique d'augmentation du troupeau (cas 3).....	93
4. Discussion.....	95
5. Conclusion.....	98
Remerciements.....	99
Discussion générale.....	101
Références bibliographiques.....	108

Liste des figures

Figure 1 : Schéma du système d'élevage, d'après Lhoste, 1984	24
Figure 2 : Localisation du bassin de collecte de la CAPUL et des assentamentos de l'étude.....	36
Figure 3 : Organisation schématique des différentes phases du travail de thèse	40
Figure 4 : Simplified representation of the supply chain including the six farms studied	50
Figure 5 : Production cost for a liter of milk and distribution of expenses per origin in the benchmark and the six farms studied	61
Figure 6 : Relationship between herd size and total livestock gross margin in the benchmark and the six farms studied	61
Figure 7 : Relationship between production cost and total livestock gross margin per cow in the benchmark and the six farms studied.....	62
Figure 8 : Trajectory of the six farms studied	63
Figure 9 : Représentation conceptuelle de l'outil de simulation dédié à l'évaluation des pratiques de gestion du troupeau dans les exploitations laitières, adapté de Le Gal et al., 2009	75
Figure 10 : Cycle physiologique des vaches laitières dans DairyMoTion.....	76
Figure 11 : Exemple de courbe de lactation tracée à partir des variables de lactation (en italique), correspondant à une production de 6000 litres par lactation.....	78
Figure 12 : Exemple de courbe de croissance du pâturage, tracée à partir des variables <i>MonthlyPercentage</i>	79
Figure 13 : Diagramme de classe des données d'entrée	82
Figure 14 : Représentation schématique de la démarche d'accompagnement testée	87
Figure 15 : Productions laitières observées et simulées des trios cas d'étude.....	88
Figure 16 : Production laitière, coûts et marge brute mensuels pour le cas 1	91
Figure 17 : Production laitière, coûts et marge brute mensuels pour le cas 2.....	92
Figure 18 : Production laitière, coûts et marge brute mensuels des quatre prochaines années pour le cas 3.....	95

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des trois assentamentos sélectionnés par le Projet Unaí, issu de Oliveira et al., 2009	32
Tableau 2 : Structural circumstances of the benchmark farm and of the six farms studied (base 100 for the benchmark)	55
Tableau 3 : Feeding systems of the benchmark farm and of the six farms studied (base 100 for the benchmark)	57
Tableau 4 : Average dietary rations of lactating cows in dry season (base 100 for the benchmark)	58
Tableau 5 : Dairy practices and performances of the benchmark farm and of the six farms studied (base 100 for the benchmark)	59
Tableau 6 : Ingestion de matière sèche (DMI) mensuelle des génisses et des veaux de 0 à 4 mois.....	77
Tableau 7 : Liste des données d'entrée	82
Tableau 8 : Caractéristiques des trois exploitations partenaires de la démarche d'accompagnement ...	86
Tableau 9 : Combinaison des données d'entrée saisies dans les scénarios simulés pour le cas 1	90
Tableau 10 : Surfaces en canne à sucre requises et rendements et surfaces en pâturage requis pour le scénario 40, en fonction du rendement de la canne à sucre	91
Tableau 11 : Caractéristiques des cultures fourragères et de l'usage de concentrés	93
Tableau 12 : Surface et productivité des différentes cultures fourragères des quatre années simulées pour le cas 3	94

Liste des abréviations

ADG : *Average Daily Gain* (Gain moyen quotidien, exprimé en kg)

AU : *Animal Unit* (Unité animale correspondant à une vache de 450 kg)

BRL : *Brazilian Real* (Real brésilien, devise monétaire du pays)

CAPUL : *Cooperativa agropecuária de Unaí LTDA* (Coopérative agricole d'Unaí)

CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

CP : *Crude Protein* (Protéine brute)

DM : *Dry Matter* (Matière sèche)

DMI : *Dry Matter Intake* (Ingestion de matière sèche)

EMATER-MG : *Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Minas Gerais* (Entreprise d'assistance technique et d'extension rurale du Minas Gerais)

EMBRAPA : *Empresa brasileira de pesquisa agropecuária* (Centre national brésilien de recherche en agronomie)

FAEMG : *Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Minas Gerais* (Fédération d'agriculture et d'élevage du Minas Gerais)

GTRA : *Grupo de Trabalho de Apoio à Reforma Agrária* (Groupe de travail d'appui à la réforme agraire)

IBGE : *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística* (Institut brésilien de géographie et statistiques)

INCRA : *Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária* (Institut national de colonisation et réforme agraire)

M_{fat} : Taux butyreux du lait (%)

MP_{Lact} : Besoins en protéines pour un litre de lait (g)

M_{prot} : Taux protéique du lait (%)

NE_L : Besoins en énergie pour la production d'un litre de lait (Mcal)

NRC : *National Research Council*

SEBRAE-MG : *Serviço brasileiro de apoio às pequenas e micro empresas do Minas Gerais* (Service d'appui aux petites et micro entreprises du Minas Gerais)

SENAR-MINAS : Serviço Nacional de Aprendizagem Rural do Minas Gerais : Service national d'apprentissage rural

STR : *Sindicato dos Trabalhadores Rurais* (Syndicat des travailleurs ruraux)

TDN : *Total Digestible Nutrient* (Nutriments digestibles totaux)

UML : *Unified Modeling Language*

UnB : *Universidade de Brasília* (Université de Brasília)

USD : *US Dollar*

Glossaire

assentado : producteur rural ayant obtenu l'usufruit, puis la propriété de sa terre après occupation et légalisation

assentamento : installation légalisée de plusieurs familles sur des terres expropriées dont elles ont l'usufruit puis la propriété

Cerrados : biome de type savane, occupant le grand plateau central du Brésil

chapadas : plateaux (sens géographique)

fazenda : grande exploitation agricole

planaltos : plateaux (sens géographique)

veranicos : épisodes plus ou moins long de sécheresse survenant au cours de la saison des pluies ; littéralement, petit été.

Introduction générale

L'agriculture mondiale est aujourd'hui confrontée à de multiples enjeux qui génèrent ou appellent à de profondes transformations des systèmes agricoles. Elle doit répondre à une demande alimentaire croissante tout en s'inscrivant dans le principe de développement durable. La prise de conscience des impacts néfastes de l'agriculture intensive sur l'environnement (perte de fertilité des sols, perte de biodiversité agricole et non agricole, pollutions des eaux et des sols) remet en cause les modes de production des cinquante dernières années. Dans un contexte marqué par le changement climatique, les évolutions rapides de l'environnement socio-économique global et la raréfaction des ressources (en eau, terres et énergie), la conception de systèmes agricoles innovants représente un enjeu fort pour les sciences agronomiques (Meynard et al., 2006).

Le productivisme du XXe siècle a privilégié une approche de l'agronomie par décomposition analytique des processus de production, apportant une réponse technique voire technologique standard, miracle pourrions-nous dire, à chaque problème rencontré : une série d'actes techniques, des variétés à haut potentiel de rendement, l'usage d'intrants chimiques. Plusieurs constats amènent les agronomes à revoir aujourd'hui leurs démarches et à les inscrire dans une approche systémique. La montée en puissance des problèmes environnementaux a conduit l'agronomie à mobiliser les apports de l'écologie et à considérer les systèmes agricoles comme des écosystèmes cultivés (Altieri, 1986). La prise en compte des logiques et des modes de décision de l'agriculteur vient du constat fait dans les années 1970 que les agriculteurs n'adoptaient pas systématiquement les innovations techniques proposées et ne répondaient pas à la seule logique de maximisation de leur profit (Dobremez and Bousset, 1996). L'exploitation agricole est alors considérée dans son ensemble comme un système complexe qui ne peut être analysé comme l'addition de moyens et de techniques de productions (Osty, 1978). L'approche systémique s'impose tout particulièrement aux exploitations laitières compte tenu de la diversité des domaines d'intervention des éleveurs de vaches laitières (production fourragère, élevage, gestion de différents types d'animaux...) (Sraïri, 2001).

Pour répondre aux enjeux toujours plus complexes de l'agriculture dans un contexte changeant et caractérisé par la diversité des conditions réelles des exploitations, les méthodes de conception de systèmes agricoles cherchent aujourd'hui à évaluer *ex-ante* les systèmes innovants susceptibles d'être adoptés parmi un ensemble de possibles. La modélisation se présente comme un outil puissant pour tester de nouvelles configurations des systèmes de production. Elle permet, en peu de temps et à moindre coût, de tester différents scénarios et de les évaluer avant de les sélectionner et les diffuser. Les systèmes proposés doivent cependant être appropriables par les agriculteurs. Les agriculteurs et ceux qui les conseillent ont donc

surtout besoin aujourd'hui de méthodes pour construire et évaluer des systèmes innovants, adaptés à leur situation précise, plus que de « paquets techniques » clef en main (Reau and Doré, 2008). L'utilisation des modèles dans une démarche d'accompagnement individuel des producteurs peut répondre à cette nécessité en aidant les producteurs à explorer de nouvelles configurations qui prennent en compte leur propre situation. Dans les exploitations en cours d'installation, le besoin d'explorer des alternatives est d'autant plus grand que le système de production est en phase de développement. Les exploitations familiales brésiliennes de la réforme agraire se présentent à ce titre comme un exemple intéressant pour tester une démarche d'accompagnement visant à aider les producteurs à concevoir leurs systèmes d'exploitation.

L'objectif de ce travail est de proposer une démarche d'accompagnement personnalisé des producteurs utilisant un modèle de simulation, dénommé DairyMoTion, qui permet d'explorer de nouvelles configurations de l'exploitation laitière. Le modèle se base sur un modèle conçu pour l'accompagnement d'exploitations familiales laitières marocaines. Il en étend le domaine d'application à d'autres systèmes de production de lait par l'intégration d'aspects présents dans des exploitations familiales brésiliennes. Un échantillon de six exploitations a été étudié pour en comprendre finement le fonctionnement et faire évoluer le premier modèle en un modèle plus générique. La démarche d'accompagnement a ensuite été testée auprès du même échantillon et auprès d'autres producteurs de la même région.

Ce manuscrit se structure en cinq chapitres. Le premier chapitre définit les différents concepts mobilisés dans ce travail et en expose la problématique. Le deuxième chapitre présente la zone d'étude où s'est déroulé ce travail et décrit le dispositif de recherche mis en œuvre. Le chapitre 3 s'appuie sur une publication acceptée dans la revue *Animal* ; il fournit un diagnostic des systèmes de production laitière étudiés et s'intéresse à leur insertion dans le bassin de collecte. Il identifie les facteurs de réussite des producteurs de la réforme agraire dans leur projet et conclut sur l'intérêt d'un accompagnement personnalisé des producteurs, qui prenne en compte leur diversité. Le chapitre 4, rédigé sous forme d'article soumis, en cours de révision, décrit le modèle de simulation conçu pour la démarche d'accompagnement, la démarche elle-même, et présente trois exemples d'expérimentation de la démarche. Enfin, le chapitre 5 propose une discussion générale et des perspectives de recherche future.

I. CONCEPTION DE SYSTÈMES AGRICOLES

La conception de systèmes agricoles recourt habituellement à une des quatre méthodes suivantes (Doré et al., 2006) : le diagnostic, l'expérimentation systémique, le prototypage ou la modélisation par simulation. Le diagnostic agronomique évalue les systèmes agricoles sur la base d'enquêtes et en détermine les facteurs limitant. Il est un outil indispensable pour l'amélioration des systèmes existants mais ne permet pas d'évaluer de nouveaux systèmes. L'expérimentation systémique permet d'évaluer des systèmes intégrés, mais sa mise en œuvre longue et coûteuse n'en fait pas une méthode adaptée au contexte actuel d'évolutions rapides et de diversité des situations dans les exploitations. Par ailleurs, la généralisation des résultats est délicate compte tenu de la variabilité, climatique par exemple (Debeake, 2009). Par son processus itératif de construction-expérimentation-évaluation-adaptation de prototypes, le prototypage étudie davantage d'alternatives pour un même système mais reste une méthode coûteuse en temps. La modélisation est basée sur une représentation schématique du système étudié. Il est alors permis de tester virtuellement toutes les combinaisons entre les différents éléments représentés du système.

Dans son acception scientifique, un modèle est une représentation schématique et simplifiée d'un objet ou d'un processus qui permet de substituer un système plus simple au système naturel (Mouloud et al., 1999). Tout travail de modélisation implique des choix quant aux éléments et aux processus représentés et au niveau d'abstraction dans la représentation de ces processus. Ces choix reflètent les objectifs du modélisateur. Un modèle peut être purement conceptuel ; l'objectif est d'offrir une représentation du système, intelligible pour l'utilisateur, à des fins explicatives, décisionnelles ou didactiques. Le terme modèle désigne également des développements informatiques, qui reproduisent le fonctionnement de l'objet représenté selon le modèle conceptuel sous-jacent. De nombreux modèles informatisés d'exploitation laitière ont été produits par la recherche dans un but heuristique ou d'aide à la conception de systèmes innovants. Concevoir un modèle d'exploitation laitière nécessite d'en avoir une représentation. Après avoir décrit différentes représentations de l'exploitation laitière produites par l'agronomie et la zootechnie, cette section présente un éventail des modèles d'exploitation laitière existants. Elle aborde ensuite la question de l'utilisation des modèles en situation d'accompagnement des producteurs. Ces éléments nous permettront de formuler la question de recherche et les hypothèses.

II. L'EXPLOITATION LAITIÈRE

L'exploitation agricole peut être considérée comme un système de production finalisé par les objectifs de l'exploitant (Jouve, 1986). Pour Lhoste, le système d'élevage se caractérise par trois pôles en interaction : l'éleveur, le troupeau et le territoire (Figure 1) (Lhoste, 1984). Le troupeau, formé par l'ensemble des animaux, est décrit par différents aspects : (i) les caractéristiques des animaux qui le composent (effectif, types génétiques) et leur état individuel (stade physiologique, performances individuelles) ; (ii) une dynamique, dépendante des processus de reproduction, de mortalité et d'exploitation (achats, ventes) ; (iii) la conduite du troupeau et de l'alimentation et (iv) les produits qui peuvent être la viande, le lait, la laine, le fumier ou encore la force de travail. Le pôle territoire est décrit par (i) sa structure ; (ii) la production de biomasse en qualité et quantité ; (iii) son utilisation par les animaux et (iv) son évolution dans le temps (variations saisonnières et interannuelles). Le système d'alimentation peut être considéré à l'interface entre les pôles troupeau et territoire dans la mesure où son objectif est de mettre en équilibre l'offre alimentaire fournie par le parcellaire et la demande alimentaire émanant du troupeau, que ce soit en quantité ou en qualité. Le troisième pôle représenté par l'éleveur regroupe les caractéristiques de la famille, les objectifs et modes de décision, la force de travail et l'organisation du travail, et les relations de la famille avec des entités extérieures à l'exploitation.

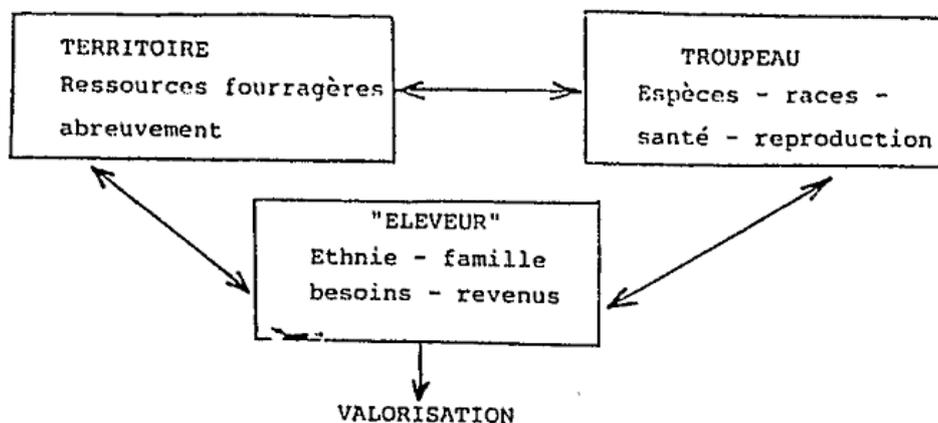


Figure 1 : Schéma du système d'élevage, d'après Lhoste, 1984

Dans une autre représentation du système de production en polyculture-élevage, l'éleveur est remis au centre du système qui se définit alors par « un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisés par l'homme en vue de valoriser des ressources par l'intermédiaire d'animaux domestiques » (Landais, 1987). L'éleveur pilote les éléments constituant son système par des pratiques et dans un objectif. Cette représentation rejoint celle, couramment utilisée en modélisation, qui définit le système de production comme la combinaison du

système biophysique et du système décisionnel (Keating and McCown, 2001; Vayssières, 2008). Le système décisionnel décrit les processus de décision de l'éleveur, et le système biophysique se compose des différentes ressources à sa disposition, et des processus auxquels ces ressources sont soumises, individuellement ou en interaction avec les autres ressources.

Le système décisionnel a été décrit par Sebillotte et Soler sous la forme du modèle d'action (Sebillotte and Soler, 1990). Le processus décisionnel s'organise autour de trois points : (i) un ou plusieurs objectifs généraux qui définissent le terme vers lequel convergent les décisions de l'agriculteur ; (ii) un programme prévisionnel et des états-objectifs intermédiaires qui définissent des points de passage obligés et des moments où l'agriculteur peut faire des bilans en vue de « mesurer » où il en est de la réalisation de ses objectifs généraux ; se trouvent ainsi fixés les indicateurs qui serviront aux décisions et (iii) un corps de règles qui en fonction d'un champ d'événements futurs perçus comme possibles par l'agriculteur, définit, pour chaque étape du programme, la nature des décisions à prendre pour parvenir au déroulement souhaité des opérations et la nature des solutions de rechange à mettre en œuvre si, à certains moments, ce déroulement souhaité n'est pas réalisable. Ces trois points correspondent aux niveaux de décision aussi appelés stratégique, tactique et opérationnel.

III. MODÉLISATION DES EXPLOITATIONS

En fonction des objectifs de la conception et des problématiques inhérentes aux systèmes modélisés, les modèles d'exploitation laitière vont se baser sur différentes représentations du système de production, inclure ou non ses différentes composantes et ses différents processus et utiliser différentes méthodes et techniques.

Les modèles décrits dans la littérature ont pour objectif de contribuer à la compréhension du fonctionnement des systèmes représentés ou d'aider des acteurs dans le processus de prise de décision (Passioura, 1996; Thornton and Herrero, 2001). Parce qu'ils ont des finalités différentes, ces deux types de modèles ont également des contraintes de conception et de développement très différentes concernant par exemple l'accessibilité des données d'entrée, la facilité d'utilisation ou encore la compréhensibilité des résultats obtenus. Les modèles pour la connaissance sont généralement conçus pour évaluer les impacts de différentes stratégies ou de variations des variables exogènes. Cette démarche peut aboutir à la sélection de configurations des systèmes modélisés intéressantes au regard de la problématique étudiée. Un grand nombre de modèles traitent des impacts environnementaux de la production laitière, liés à la production de gaz à effet de serre (FarmGHG de Olesen et al., 2006; DairyWise de Schils et al., 2007), aux flux d'azote (DyNaFlo de Cabrera et al., 2005; Dueri et al., 2007; IFSM de Rotz et al., 2005b; van de Ven and van Keulen, 2007) ou de phosphore (Modin-

Edman et al., 2007). D'autres modèles s'intéressent aux performances économiques de l'activité laitière en fonction de différentes options de gestion du pâturage (Chapman et al., 2008; Cros et al., 2001; Romera et al., 2004), des productions fourragères (Ramsden et al., 1999; DAFOSYM de Rotz et al., 1989), ou des pratiques d'élevage (The Moore Park Dairy System Model de Shalloo et al., 2004). Certains modèles recherchent les meilleures stratégies de production possibles dans un contexte régional donné (Bernet et al., 2001; Herrero et al., 2000).

Contrairement aux modèles conçus pour les acteurs de la recherche, certaines applications se présentent comme des outils d'aide à la décision destinés à être utilisés par ou avec des producteurs. Ils sont destinés à favoriser le processus de prise de décision des acteurs qui les utilisent (Attonaty et al., 1999). Ils s'intéressent davantage aux résultats qu'ils produisent qu'à la représentation des processus. Cependant, la littérature scientifique focalise généralement sur la phase de conception de ces modèles et fait peu état de leur emploi par les usagers. Dans le domaine des modèles représentant les exploitations laitières, certaines publications détaillent cependant la mise en œuvre du modèle. Les modèles peuvent être basés sur des relations statistiques et n'être valables que dans une région donnée (Kerr et al., 1999), ou mécanistes et demander un nombre élevé d'informations (Vayssières et al., 2007). Dans certains cas ils se limitent à certains types de décision tels que l'adéquation entre offre fourragère et demande alimentaire du troupeau (Dobos et al., 2004). La complexité de ces modèles dépend des objectifs qui leur sont fixés, et relève d'un compromis entre la précision nécessaire et l'accessibilité des données.

Les principales méthodes de modélisation sont l'optimisation et la simulation. Les modèles d'optimisation permettent d'obtenir une configuration optimale des variables du système, sous un certain nombre de contraintes et en maximisant une fonction objectif. La principale technique utilisée est la programmation linéaire. Les modèles d'exploitation utilisant l'optimisation cherchent généralement à maximiser le revenu du producteur (Berentsen and Giesen, 1995; Bernet et al., 2001). La modélisation par simulation utilise une représentation schématique du système dont elle reproduit le comportement. A l'origine de ce champ de recherche, on citera par exemple les travaux de de Wit sur la respiration et la photosynthèse, mettant en relation processus instantanés et accumulation de biomasse, et exploités dans les modèles de culture pour prédire une partie de l'élaboration du rendement à partir des conditions climatiques (de Wit, 1965). Concernant le système biophysique, les modèles de simulation vont mettre l'accent sur les processus, et les formaliser de manière compréhensive par des équations mathématiques mécanistes (Jame and Cutforth, 1996). On comprend ainsi que la formalisation mathématique des processus biophysiques agissant dans les systèmes représentés requiert un nombre important de données d'entrée, qui va en augmentant avec les avancées dans la compréhension des processus. Dans les modèles d'exploitation, l'échelle des processus biologiques peut se révéler trop fine par rapport aux variables d'intérêt qui

constituent les leviers d'action des agriculteurs. Dans ce cas, ou lorsque les connaissances sont insuffisantes pour représenter un processus de façon mécaniste, les relations entre variables peuvent être empiriques, par exemple statistiques. Selon les questions du modélisateur, un même modèle peut combiner un niveau de description mécaniste détaillé pour un des aspects du système et un niveau plus empirique pour un autre aspect ; il peut aussi combiner la simulation et l'optimisation (Rotz et al. (2005a) utilisent l'optimisation pour la formulation de rations dans un modèle de simulation du troupeau bovin).

La prise en compte du processus décisionnel des agriculteurs dans la recherche agronomique s'est également traduite dans le développement des modèles. Dans la plupart des modèles, le processus de décision n'est pas représenté en tant que tel, il est intégré au fonctionnement du modèle et ne peut être paramétré par l'utilisateur. Quelques modèles de simulation formalisent le système décisionnel (Cros et al., 2001; Martin, 2009; Romera et al., 2004; Vayssières, 2008). Les décisions du producteur sont représentées par un ensemble de règles, qui se caractérisent par une action à effectuer sur une entité du système de production (par exemple un groupe d'animaux, une parcelle) lors de la réalisation d'un événement (par exemple pour une valeur donnée d'une variable) (si Conditions alors Actions). Ces décisions de planification de conduite du système de production sont en général récurrentes et cycliques, alors que les décisions stratégiques ne se posent que de temps en temps.

IV. ACCOMPAGNEMENT DES PRODUCTEURS

Les dispositifs de conseil ont longtemps été conçus selon un schéma vertical descendant de vulgarisation agricole (*top-down*) pour diffuser les innovations technologiques des lieux de conception vers les producteurs via les agents du conseil. De tels dispositifs sont aujourd'hui critiqués pour leur incapacité à générer des dynamiques de développement agricole portées par les producteurs (Brochet et al., 2002). D'une part, les recherches sur le conseil concluent à l'importance de la prise en compte des apprentissages dans l'efficacité des dispositifs de conseil (Loevinsohn et al., 2002; Röling and de Jong, 1998). Les approches participatives favorisent les processus d'apprentissage par la réflexion individuelle et les interactions entre acteurs (Temu et al., 2007). D'autre part, les nouveaux enjeux de l'agriculture questionnent le contenu des dispositifs et une redéfinition des rôles du conseiller est nécessaire. Au delà de simples recommandations techniques, de nouvelles compétences sont demandées aux acteurs du conseil, comme les aspects relevant de la stratégie et de la gestion d'entreprise (Adams, 2000; Sulaiman and Hall, 2002). La diversité des projets et des situations auxquelles sont confrontés les producteurs remet en cause les méthodes standards de conseil et appelle à une co-construction du conseil basée sur l'interaction entre le producteur et le conseiller (Röling and de Jong, 1998).

V. QUESTION DE RECHERCHE

Compte tenu des perspectives qu'offrent les modèles en matière de conception et d'évaluation de systèmes de production, et de la nécessité de proposer aux producteurs –et à ceux qui les conseillent– des méthodes pour concevoir des systèmes adaptés à leur situation, les modèles peuvent se révéler des outils pertinents pour appuyer une démarche de conseil. L'objectif d'accompagnement représente cependant une contrainte majeure dans la conception du modèle dès lors qu'il doit être utilisé par des acteurs autres que des chercheurs (Le Gal, 2009). Faisant le constat d'une faible utilisation des outils d'aide à la décision par les producteurs, plusieurs auteurs nous indiquent que l'utilisation des modèles en accompagnement des producteurs nécessite que les représentations utilisées dans les modèles soient mises en cohérence avec celles qu'ont les producteurs de leur système (Cox, 1996; McCown et al., 2009). Les modèles conçus pour la recherche ne peuvent donc pas être transposés à une utilisation en situation de conseil. Pour de Geus, la qualité de modèles d'aide à la décision est davantage liée à leur capacité à stimuler les réflexions des producteurs sur la base d'une représentation des processus modélisés qui leur soit compréhensible au détriment éventuel de leur précision (de Geus, 1992). Pour éviter les écueils de la non utilisation des modèles comme outils pour l'action, les concepteurs de tels modèles doivent non seulement s'interroger sur le fonctionnement du système représenté mais aussi sur les représentations et les attentes des acteurs concernés. La question qui se pose est : quel modèle développer comme support de conseil pour aider les producteurs laitiers à concevoir leurs systèmes de production ? C'est la question à laquelle nous allons répondre dans ce document. Nous faisons les hypothèses suivantes :

H1 : un modèle informatisé d'exploitation laitière peut aider le producteur à concevoir son système de production par l'exploration de scénarios ;

H2 : le modèle n'est qu'un support à la discussion sur la conception du système dans une relation conseiller-producteur.

I. LA ZONE D'ÉTUDE

1. L'agriculture brésilienne

Si le Brésil nous évoque aujourd'hui un géant mondial de la production agricole, la réalité brésilienne est celle d'une agriculture à deux vitesses. Les exploitations de plus de 1000 ha, soit moins de 1% des exploitations agricoles, couvrent 44% du territoire, tandis que les plus petites, représentant plus de 50% des producteurs, n'occupent que 2,4% de la superficie agricole totale, pour des surfaces d'exploitation de moins de 10 ha (IBGE, 2008). La structure foncière est un héritage de l'histoire coloniale du Brésil. A l'origine de l'occupation portugaise, le système agricole était centré sur de grandes productions destinées à l'exportation vers le Portugal et basé sur l'esclavage des populations indigènes et les esclaves d'Afrique. Aujourd'hui, les grandes exploitations (*fazendas*) sont intégrées dans un système agro-industriel et se consacrent aux monocultures d'exportation (sucre, café, soja). Les systèmes de production utilisent intensivement les produits agrochimiques et agrottoxiques. L'emploi de main d'œuvre est réduit au maximum par une mécanisation poussée.

L'agriculture familiale s'est constituée parallèlement tout au long de l'histoire, par des prétendants à la gestion de domaines qui n'obtenaient pas possession de la terre par les voies légales, des esclaves fugitifs et des esclaves affranchis. A partir des années 1950, la modernisation des systèmes de production des grandes exploitations conduit à une diminution de l'emploi rural. Des ligues de petits paysans émergent, revendiquant « la terre à ceux qui la travaillent ». Plusieurs projets de réforme agraire et de colonisation (colonisation de l'Amazonie à partir de 1970) ont été entrepris par les gouvernements successifs, avec plus ou moins d'ampleur. Des fazendas ayant cessé leur activité de production sont expropriées par un service gouvernemental (l'Incra¹, Institut National de Colonisation et Réforme Agraire) et sous-divisées en lots attribués à des familles de travailleurs ruraux « sans-terre ». Ce processus intervient souvent après des occupations des lieux par les « sans-terre », régularisant les appropriations illégales. Les nouveaux périmètres de réforme agraire sont appelés *assentamentos*, et leurs bénéficiaires, *assentados*. L'installation des *assentados* est appuyée par des programmes de développement rural, incluant la mise en place de lignes spécifiques de crédit, le développement d'infrastructures (électrification, routes, ponts) et des services d'assistance technique, généralement déficients. Le succès des *assentados* dans leur projet agricole n'est pas toujours au rendez-vous et l'aventure se solde parfois par un retour en milieu urbain. De nombreux facteurs et leur combinaison entrent en compte. Interviennent,

¹ Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

selon les régions, les caractéristiques naturelles des lots reçus, la rapidité d'accès au crédit ou de la mise en place des infrastructures, l'existence d'assistance technique, la présence de marchés dans la région, ou encore l'origine des bénéficiaires et leur expérience en agriculture familiale (Bittencourt et al., 1998).

Souvent qualifiée d'archaïque ou improductive, l'agriculture familiale, traditionnelle ou issue de la réforme agraire, produisait en 2005 la majorité ou une part non négligeable de la production nationale des produits de l'alimentation de base (Théry, 2009). Dans la filière laitière, l'agriculture familiale se révèle compétitive par la valorisation de la main d'œuvre familiale (Institut de l'élevage, 2008). Le lait est souvent la première production de rente des *assentados*. Néanmoins l'établissement durable des *assentados* ne peut faire l'impasse d'une intégration au marché. Or la commercialisation du lait sur le circuit formel doit respecter des normes de plus en plus exigeantes, qui incitent à faire des investissements conséquents (respect de la chaîne du froid, bonnes conditions d'hygiène, acquisition de bétail plus productif, lissage de la saisonnalité par l'affouragement en saison sèche, fourniture de concentré) qui interrogent la configuration des systèmes de production. Ces nouveaux producteurs, souvent sans expérience de la gestion d'une exploitation, au capital limité et peu organisés sur un plan commercial requièrent une attention toute particulière en matière d'accompagnement.

2. Le choix d'Unai

2.1. Le projet Unai, démarche de recherche-développement pour appuyer le développement de l'agriculture familiale

Le développement durable des producteurs de la réforme agraire fait l'objet de nombreux projets et études au Brésil, par les universités et les centres de recherche, en partenariat avec les organismes d'appui aux producteurs et d'autres acteurs locaux. Les thèmes de recherche couvrent de nombreux aspects : génétique (sélection de variétés adaptées aux conditions de culture de l'agriculture familiale), technique (développement de technologies accessibles aux familles rurales, conception de systèmes de culture), écologique (gestion des ressources naturelles et de la fertilité du sol), organisationnel (renforcement des organisations sociales, insertion au marché), socio-éducatif (élaboration et mise en place de cours techniques pour la formation de conseillers, formations ponctuelles et thématiques destinées aux producteurs).

Le « projet Unai » est un projet de recherche-développement intitulé « Adaptation et utilisation d'un dispositif méthodologique participatif pour appuyer le développement durable des *assentamentos* de la réforme agraire »² (Gastal et al., 2002; Oliveira et al., 2009). Il a été

² Adaptação e utilização de dispositivo metodológico participativo visando o desenvolvimento sustentável de assentamentos de reforma agrária

initié en 2002 par l'équipe Agriculture familiale de l'Embrapa³ Cerrados, centre national brésilien de recherche en agronomie. Ce projet s'insère dans un processus partenarial plus large, impliquant initialement le groupe de travail d'appui à la réforme agraire⁴ (GTRA) de l'Université de Brasília⁵ (UnB), l'école agricole d'Unai⁶, le syndicat des travailleurs ruraux⁷ (STR) d'Unai, la division SR-28 de l'Inra et l'entreprise d'assistance technique et d'extension rurale du Minas Gerais⁸ (EMATER-MG). La coopérative agricole d'Unai⁹ (CAPUL) fournit un appui logistique au projet, en particulier par la mise à disposition d'un local. L'UnB a notamment apporté son expérience pour la mise en place d'une formation professionnelle de techniciens de développement pour des jeunes issus de la réforme agraire, dispensée en partenariat avec l'école agricole. Dix de ces jeunes ont constitué par la suite un groupe technique affilié au STR. Le projet Unai bénéficie de l'expérience acquise par l'Embrapa Cerrados au sein d'un projet antérieur, le « projet Silvânia », conduit de 1986 à 1998 auprès d'exploitations familiales traditionnelles (Zoby et al., 2003). Les outils méthodologiques sont ceux de la recherche-développement ; ils se basent sur la participation des acteurs concernés et s'organisent en trois phases, mobilisées en divers moments du projet :

- 1) un diagnostic participatif des problèmes rencontrés au sein des communautés qui aboutit à l'élaboration d'une planification stratégique participative des actions à mener ;
- 2) l'expérimentation d'innovations techniques ou organisationnelles pouvant solutionner les problèmes diagnostiqués lors de la première phase ;
- 3) la diffusion et le transfert des connaissances et références acquises, auprès du plus grand nombre de producteurs, via le renforcement des dynamiques organisationnelles.

Trois *assentamentos* ont été choisis, avec la collaboration du STR, sur la base de leurs caractéristiques d'ancienneté, de nombre de familles installées, d'organisations de producteurs, de types de sols et de systèmes de production (Tableau 1).

³ Empresa brasileira de pesquisa agropecuária

⁴ Grupo de Trabalho de Apoio à Reforma Agrária

⁵ Universidade de Brasília

⁶ Escola Estadual Juvêncio Martins Ferreira

⁷ Sindicato dos Trabalhadores Rurais

⁸ Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural

⁹ Cooperativa Agropecuária Unai Ltda

Tableau 1 : Caractéristiques des trois assentamentos sélectionnés par le Projet Unaí, issu de Oliveira et al., 2009

Caractéristiques	<i>Assentamento</i>		
	Jibóia	Paraíso	Santa Clara-Furadinho
Année de création	1998	1997	1995
Superficie (ha)	1 660	3 915	1 293
Accès	Facile	Raisonné	Difficile
Nombre de familles	55	78	42
Organisations formelles	Association communautaire	Association communautaire et association de producteurs de lait	Association communautaire
Types de sol	ferralsols, cambisols dystrophiques et arénosols	ferralsols, cambisols (dystrophiques et eutrophiques) et sols alluviaux	ferralsols, cambisols (dystrophiques et eutrophiques) et sols alluviaux
Systèmes de production ¹	Types 1 et 2	Types 1, 2, 3 et 4	Types 2, 3 et 4
Distance au siège du municipale (km)	70	52	54

¹ Première approximation des types possibles de systèmes de production, obtenue par des entretiens avec des représentants de chaque *assentamento*

Type 1 : cultures d'autoconsommation + vente de main d'œuvre et/ou de revenus non agricoles

Type 2 : cultures d'autoconsommation + petit atelier d'élevage + vente de main d'œuvre et/ou revenus non agricoles

Type 3 : cultures d'autoconsommation + petit atelier d'élevage laitier + vente de main d'œuvre et/ou revenus non agricoles

Type 4 : cultures d'autoconsommation + élevage laitier structuré

Source : (Gastal et al., 2003; Silva, 2001)

Suite au diagnostic initial, trois axes d'action, complémentaires entre eux, ont été envisagés : (i) l'appui au processus productif par la création d'un réseau de fermes de références ; (ii) l'appui à l'organisation sociale et (iii) l'appui à la commercialisation. Les rétroactions constantes entre diagnostic, expérimentations, restitution et évaluation permettent de faire évoluer les actions menées, parfois en impliquant de nouveaux partenaires. Les problèmes relatifs aux systèmes de culture ont conduit le CIRAD à intégrer le projet en 2004, autour des recherches sur les systèmes de culture en semis direct sous couverture végétale. Un suivi mensuel a été réalisé dans le réseau de fermes de référence pour générer des références

technico-économiques sur les systèmes de production. Les principaux problèmes techniques identifiés à partir du diagnostic initial et de l'analyse des données du réseau de fermes concernent l'offre fourragère pour le troupeau laitier en saison sèche, la qualité du lait, la difficulté d'accès aux équipements de préparation du sol et la gestion des adventices dans les cultures et le manque de gestion de la fertilité des sols. Sur un plan organisationnel, les associations de producteurs peinent à se constituer comme des outils performants dans la recherche de solutions permettant d'améliorer la qualité de vie des familles. Des groupes d'intérêt ont été constitués dans l'objectif de renforcer l'organisation collective autonome des producteurs. Les principales thématiques sont la commercialisation des fruits des *Cerrados* ou d'artisanat, le semis direct et le lait.

2.2. La dynamique d'intensification laitière

La production de lait a été identifiée comme un aspect clé des systèmes de production des trois *assentamentos*. C'est un des critères déterminants de la typologie utilisée, typologie qui montre une tendance des producteurs à s'orienter vers une activité laitière spécialisée et insérée au marché du lait. Les principaux problèmes recensés relatifs à la production de lait sont le déficit fourrager en saison sèche, la mauvaise qualité sanitaire du lait qui influence à la baisse le prix reçu de la vente, et la difficulté de commercialisation sans système de réfrigération. Plusieurs actions ont été conduites pour résoudre les problèmes identifiés et favoriser le développement de l'activité : un appui à la formation et à la conduite des plantations de canne à sucre pour améliorer l'alimentation du troupeau en saison sèche, des formations relatives à la qualité du lait, et un appui au renforcement des organisations de producteurs pour l'acquisition collective d'un tank à lait. Une étude a été menée sur l'efficacité de la production de lait, avec l'objectif d'identifier des benchmarks – des producteurs plus efficaces – et de mettre en évidence les conditions de leur réussite (Pinheiro, 2007). Les facteurs principaux discriminants sont les types génétiques du troupeau et la distribution de concentré. Mais l'étude reste globalement descriptive, et les effets attendus en matière de diffusion des « bonnes pratiques » sont des processus d'apprentissage par l'échange entre producteurs benchmarks et autres producteurs, sans que soit envisagée une valorisation des résultats par un service d'accompagnement. Le projet conclut à la nécessité de poursuivre les recherches sur la gestion de l'exploitation laitière par des démarches qui prennent en compte la complexité de ce système de production.

Compte tenu de la dynamique de spécialisation laitière observée dans les petites exploitations du municípe d'Unaí et de l'absence d'accompagnement de ces producteurs sur la gestion d'une exploitation laitière, le terrain Unaí offre un contexte favorable à la conception et l'expérimentation d'une démarche d'accompagnement basée sur l'utilisation d'un modèle de simulation comme outil pour la réflexion autour des questions stratégiques.

3. Description de la zone d'étude

3.1. Caractéristiques pédoclimatiques

Le Municipale d'Unaí est situé au cœur des *Cerrados*, deuxième biome le plus représenté au Brésil avec deux millions de km². Les *Cerrados* se situent sur le grand plateau qui occupe le centre du Brésil et couvrent plusieurs états. On y rencontre majoritairement trois types de reliefs : les *planaltos* ou *chapadas* qui sont de grands plateaux, les vallées de rivières, fertiles aux abords des cours d'eau, et les zones intermédiaires au relief plus découpé. La végétation naturelle y est de type savane, et peut être plus ou moins fermée par la strate arborée, en fonction de gradients pédoclimatiques (composition chimique des sols, structure, profondeur). Le climat rencontré est tropical saisonnier. Il est marqué par deux saisons bien distinctes : une saison des pluies qui concentre la quasi-totalité des précipitations annuelles, et une saison sèche qui peut durer jusqu'à 180 jours. Les précipitations moyennes annuelles sont de 1200 mm à 1800 selon les régions. La première moitié de la saison des pluies peut connaître des interruptions de précipitations de quelques jours à plusieurs semaines, que l'on appelle des *veranicos*. La température moyenne est autour de 25°C, pouvant atteindre 40°C et descendre jusqu'à 10°C. En saison sèche, les vents forts augmentent l'ETP sur les plateaux.

Les sols présents dans les *Cerrados* sont divers, mais on rencontre majoritairement des sols de type ferrallitiques, caractérisés par une forte acidité, une saturation en aluminium, une forte fixation du phosphore, et une faible CEC, d'où une faible fertilité naturelle (Blancaneaux et al., 1993). Jusque dans les années 1970, la région était considérée impropre à l'agriculture en raison des contraintes pédologiques. Les activités agricoles se limitaient à l'élevage bovin extensif sur les plateaux par de grands propriétaires et l'agriculture de subsistance près des cours d'eau par de petites communautés. Les recherches de l'Embrapa ont abouti à des techniques de correction des sols (chaulage) et du matériel végétal adapté (tolérance à l'aluminium), qui ont permis la mise en valeur agricole de la région. L'expérience des pionniers (agriculteurs du Sud du pays) a permis une organisation rapide de la production intensive de soja notamment. On retrouve donc dans les *Cerrados* la dualité de l'agriculture brésilienne avec d'un côté, de grandes propriétés industrielles et productivistes, et de l'autre de petits agriculteurs familiaux.

Unaí est un municipe de l'état du Minas Gerais, situé à 170 km de Brasilia, la capitale brésilienne. Il a été créé en 1943. Il couvre 8 438 km² et compte 75 494 habitants (IBGE, 2010). La population rurale ne représente que 25% des habitants du municipe. On rencontre dans le municipe les trois types de reliefs présents dans les *Cerrados*. Les chapadas sont occupées par de grands producteurs de grain, les reliefs plus découpés par de petites exploitations (environ 1500 familles), plus diversifiées. Ces petites exploitations occupent moins de 20% des surfaces cultivées (Lenne, 2006).

3.2. L'organisation du bassin laitier

3.2.1. *La collecte*

La production laitière du municiple est au 8^o rang de la production de l'état du Minas Gerais (avec 59 millions de litres en 2004 sur 22,3 milliards) (IBGE, 2008) ; elle est soutenue à la fois par de grandes fazendas, et des petits producteurs.

La CAPUL est une coopérative basée à Unaí, dont l'objet principal est de collecter du lait dans la région d'Unaí pour le compte d'une des grandes compagnies laitières brésiliennes, Itambé. Des 320 000 l de lait collectés par jour dans un rayon de 200 km, la laiterie de la CAPUL transforme 15 000 l pour le marché local, et livre le reste à Itambé (Figure 2). Des camions d'une capacité de 6 à 8 000 l ou de 12 000 l collectent le lait tous les deux jours chez les éleveurs, qui est transféré via des tanks tampons réfrigérés dans des camions de 18 à 20 000 l livrant le lait à Itambé. Les coûts de transport sont relativement élevés, de 1,33 à 1,75 BRL/km selon le type de camion et de revêtement routier (piste ou asphalte).

Itambé travaille avec 27 coopératives, et collecte 4 millions de litres par jour, traités dans cinq sites de transformation. Les capacités de transformation de ses usines offrent à Itambé une marge dans les quantités de lait qu'elle peut collecter. Un des ses objectifs proches est d'augmenter les volumes traités de 500 000 l par jour dans deux des usines. Le marché du lait n'est donc pas limitant pour la CAPUL. Sa capacité de collecte n'est pas exploitée au maximum car le transfert des camions collecteurs aux camions livreurs est une opération très rapide. Cependant, les limites de son bassin de collecte sont imposées par la présence d'autres collecteurs. L'ambition de la CAPUL d'augmenter les volumes collectés doit se faire par l'augmentation des volumes produits à l'intérieur de son bassin de collecte.

Tout éleveur a la possibilité d'intégrer le circuit de collecte dès lors qu'il possède un tank de réfrigération. Pour des raisons financières, les plus petits producteurs s'organisent généralement en associations pour acquérir un tank collectivement. C'est l'association qui est membre de la coopérative. Les petits fournisseurs (moins de 300 l/jour selon la coopérative) fournissent 70% de la collecte.

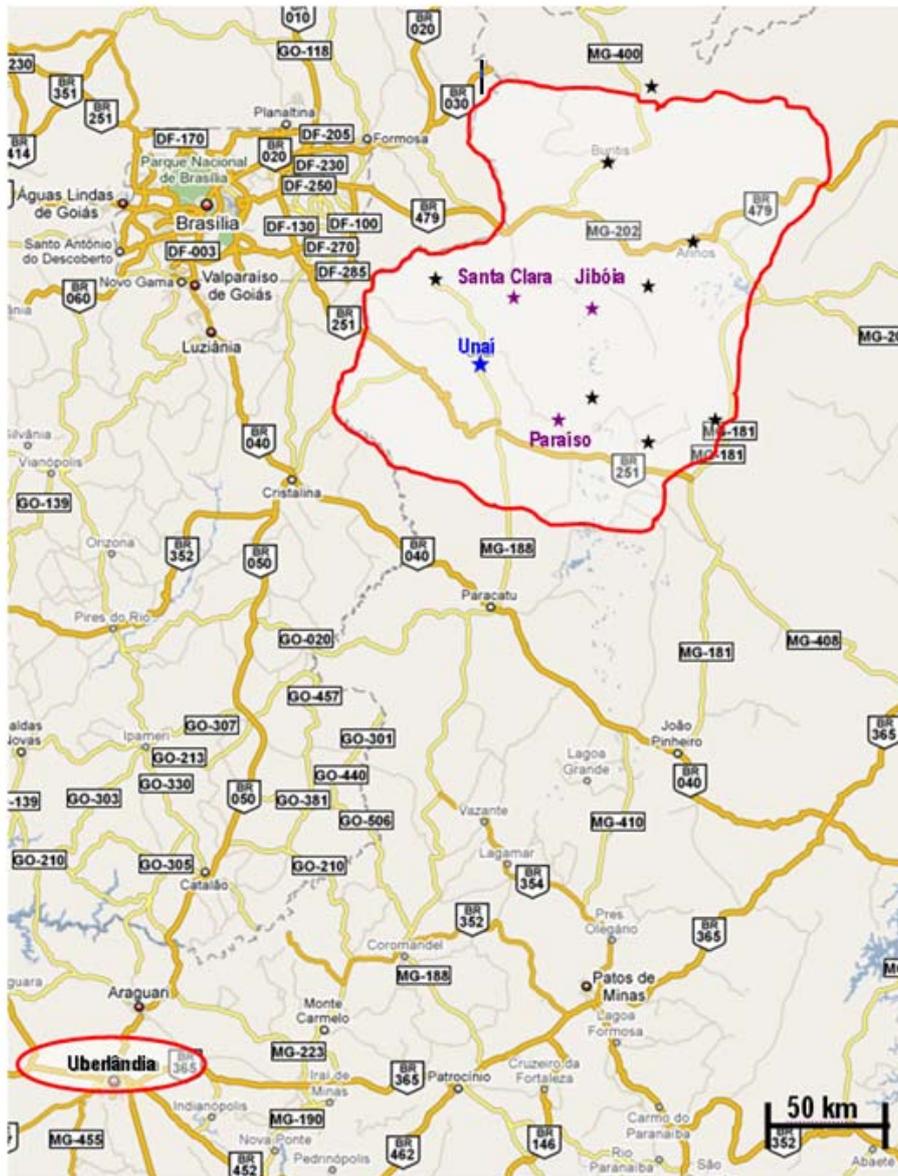


Figure 2 : Localisation du bassin de collecte de la CAPUL et des assentamentos de l'étude

3.2.2. Le paiement du lait

Le prix du lait payé au producteur est réglementé par Itambé. Il est composé d'une partie fixe ou prix de base (0,3 BRL/l en mars 2009) qui dépend du contexte international ou national, et

de bonifications ou pénalités selon différents critères. Les bonifications et pénalités sont incitatives pour stimuler la production d'un lait de qualité, augmenter la production par exploitation et lisser la production sur l'année : - 0,13 à + 0,17 BRL/l pour la qualité (hygiène, taux butyreux et taux protéique), + 0,02 BRL/l pour la température au moment de la collecte, et jusqu'à + 0,12 BRL/l en fonction de la quantité livrée à partir de 300 l/jour. Elles peuvent plus que doubler le prix final payé au producteur. Le prix de base peut être augmenté ponctuellement, en saison sèche par exemple, pour inciter les producteurs à maintenir leur production.

Le lait est payé aux livreurs mensuellement, après déduction des achats (intrants et matériel agricoles, carburant, supermarché) réalisés auprès de la coopérative.

3.2.3. Les services de conseil au petit producteur

Compte tenu de l'importance du secteur agricole dans le municipe d'Unaí, divers organismes d'appui au développement rural y sont présents. Les actions sont essentiellement conduites à un niveau collectif, et sont rarement adressées spécifiquement aux petits producteurs ou aux producteurs de la réforme agraire.

3.2.3.1. Le département technique de la coopérative

La CAPUL n'est pas dotée d'un secteur technique propre. Cependant, elle contractualise des professionnels de l'assistance technique et met à leur disposition un local où ils peuvent recevoir les producteurs. Un producteur peut se rendre au département technique pour y trouver des renseignements et des conseils. Lorsqu'un problème nécessite une visite à l'exploitation (problème vétérinaire par exemple), le paiement de l'intervention est à la charge du producteur.

La CAPUL est également partenaire dans l'organisation de conférences et de formations pratiques thématiques ouvertes aux producteurs, aux côtés du SEBRAE-MG¹⁰ (Service d'appui aux petites et micro entreprises, non spécifique au secteur agricole), du SENAR-MINAS¹¹ (Service national d'apprentissage rural, attaché au FAEMG¹², Fédération d'agriculture et d'élevage du Minas Gerais), du STR et de l'EMATER-MG.

3.2.3.2. L'EMATER-MG

L'EMATER-MG est mandatée par l'Inra SR-28 pour fournir l'assistance technique aux producteurs de la réforme agraire. Cependant, les moyens financiers et humains restent limités. A Unaí, trois agents sont en charge de l'appui aux producteurs de 27 *assentamentos*. Les actions d'assistance technique sont donc essentiellement collectives. Elles sont soumises à un processus périodique de contractualisation par l'INCRA, ce qui contraint la continuité

¹⁰ Serviço brasileiro de apoio às pequenas e micro empresas do Minas Gerais

¹¹ Serviço Nacional de Aprendizagem Rural

¹² Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Minas Gerais

des actions menées auprès des producteurs. Les actions individuelles se limitent à l'étude de dossiers pour les demandes de crédit.

3.2.3.3. *Le programme Balde Cheio*

Le programme Balde Cheio a été lancé en 2010 par la CAPUL et est encore en phase de mise en route. Il est financé en partie par la coopérative, dans une proportion progressivement décroissante ; l'autre partie est financée par le producteur. Ce financement évolutif a pour objectif d'appuyer les techniciens dans le lancement de leur activité, jusqu'à leur autonomie financière avec le groupe de producteurs suivis. La démarche consiste en un diagnostic initial, des visites bimensuelles et des journées d'échange entre participants réalisées dans l'exploitation de l'un d'eux. Le diagnostic initial permet au technicien d'observer le fonctionnement de l'exploitation, et de discuter avec l'éleveur de son projet afin de planifier les interventions. Des prélèvements sont faits pour analyser les sols de l'exploitation et les fourrages produits. Un bilan vétérinaire est réalisé sur tout le troupeau. Les thèmes abordés lors des visites couvrent des aspects techniques (conduite des pâturages, planification des cultures fourragères pour la saison sèche, alimentation du troupeau, qualité du lait, santé animale, amélioration génétique, élevage des génisses, entre autres), économiques (coûts de production de l'activité, gestion de l'exploitation) et sociaux (visite d'une assistance sociale).

L'ambition du projet Balde Cheio est d'étendre son action à un plus grand nombre de producteurs en formant une équipe d'une vingtaine de techniciens.

Parce qu'il est basé sur des visites à l'exploitation et aborde l'exploitation agricole dans son ensemble, ce programme est identifié comme un utilisateur potentiel de DairyMoTion.

II. DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

Pour concevoir un modèle de simulation à des fins d'accompagnement, plusieurs dispositifs ont été mis en place. Une analyse des opérateurs en relation avec les éleveurs a d'abord été menée pour comprendre l'organisation du bassin de collecte, dresser le panorama des services de conseil, et identifier les partenaires potentiels pour la mise en œuvre de la démarche d'accompagnement. La conception de DairyMoTion s'est basée sur une étude approfondie du fonctionnement d'un petit échantillon d'exploitations. Le modèle a ensuite été implémenté. Puis il a été testé comme outil de la démarche d'accompagnement proposée auprès des producteurs en entretiens individuels.

Le travail a débuté par une recherche bibliographique sur les différents concepts mobilisés et la construction du projet de thèse. La phase d'analyse de l'environnement institutionnel des producteurs et le lancement du suivi ont été réalisés lors d'un premier séjour à Unaí (avril 2008-octobre 2008). Les données des premiers mois de suivi ont été analysées en fin d'année

2008. Des enquêtes complémentaires, spécifiques à la saison des pluies, ont été réalisées lors d'un deuxième séjour à Unai (janvier 2009-mars 2009). La phase de conception et d'implémentation du modèle couvre la période de mars 2009 à mars 2010. La démarche a été testée auprès des producteurs lors du troisième séjour à Unai (mars 2010-juin 2010) (Figure 3).

1. Analyse des opérateurs en relation avec les exploitations laitières

Une analyse des opérateurs en relation avec les exploitations laitières a d'abord été menée. La bibliographie produite dans le Projet Unai a fourni une première vision des partenaires du projet. Nous avons ensuite rencontré différents acteurs pour approfondir notre compréhension du paysage économique et institutionnel des exploitations, situer la demande d'accompagnement et identifier ses opérateurs potentiels.

Lors du premier séjour, nous avons conduit des entretiens auprès des acteurs clé du secteur laitier d'Unai. Les partenaires rencontrés sont le directeur adjoint de la CAPUL, le responsable technique en nutrition animale de la CAPUL, un vétérinaire du secteur technique de la CAPUL, un membre du bureau régional d'Unai de l'EMATER-MG et le président du STR d'Unai. Ils nous ont permis notamment de mieux comprendre l'organisation du bassin de collecte de la coopérative et de caractériser les services de conseil qu'elle propose. Ils nous ont permis d'identifier plus spécifiquement les opportunités et contraintes inhérentes aux exploitations familiales laitières de la réforme agraire. Selon eux, pour la plupart des aspects abordés (production végétale, acquisition du troupeau, alimentation, ...), les difficultés des producteurs sont en grande partie liées au manque d'accès à l'information et un manque de définition du projet du producteur.

Après avoir développé un prototype du modèle, nous avons rencontré les techniciens du programme Balde Cheio afin de leur présenter la démarche et l'outil. L'objectif principal était d'évaluer leur intérêt à utiliser DairyMoTion pour traiter des questions stratégiques en complément de leur approche technique.

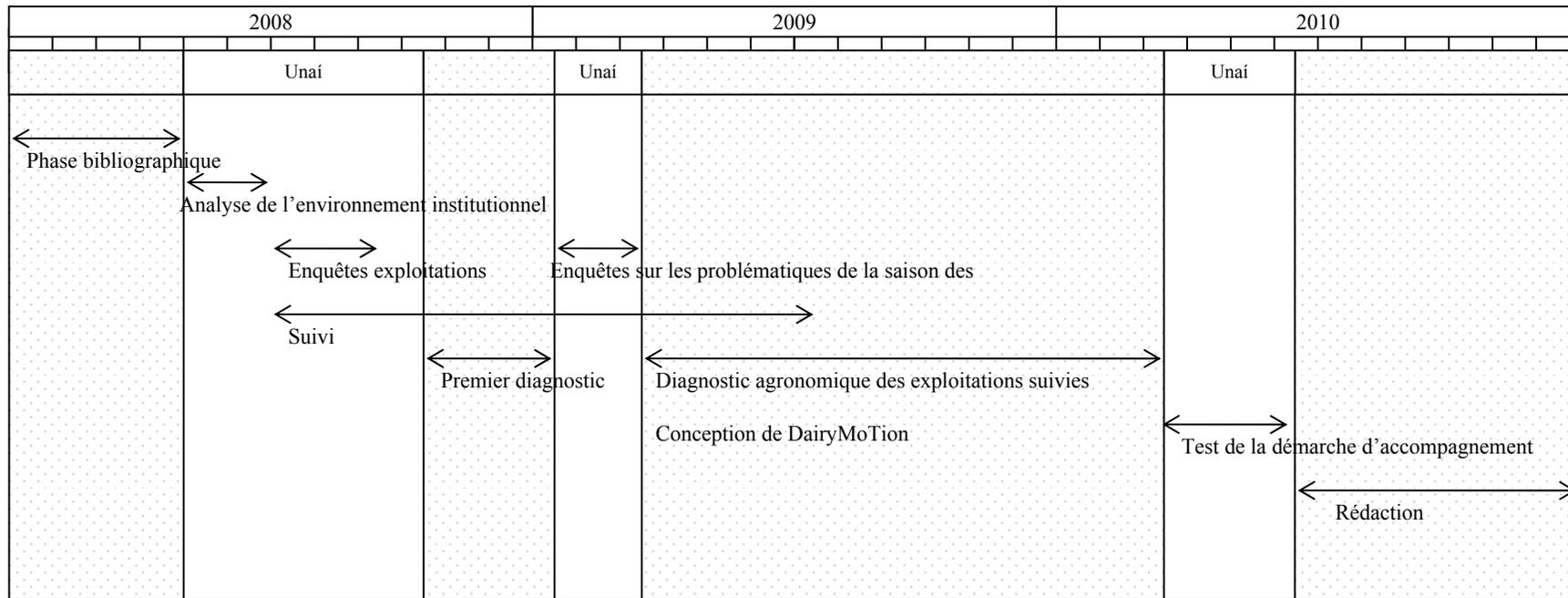


Figure 3 : Organisation schématique des différentes phases du travail de thèse

2. Comprendre le fonctionnement des exploitations laitières

Pour concevoir un modèle qui représente le fonctionnement des exploitations et identifier les questions de développement à traiter avec les éleveurs, il était nécessaire d'avoir une compréhension fine des pratiques et des modes de décision des éleveurs. Ce type d'étude n'a pas été mené précédemment au sein du projet Unaí. Nous avons donc mis en place un suivi auprès d'un échantillon d'exploitations.

2.1. Choix des exploitations

Six exploitations ont été sélectionnées pour l'analyse détaillée du fonctionnement. La taille de l'échantillon relève d'un compromis entre le besoin de couvrir une certaine diversité et le temps disponible lors des séjours de terrain. Les exploitations ont été proposées par les chercheurs du projet Unaí, puis les producteurs ont été rencontrés individuellement pour leur proposer de participer à ce travail. Les exploitations sont situées dans les trois *assentamentos* où le projet Unaí intervient habituellement : Santa Clara, Jibóia e Paraíso (ainsi que Boa União, *assentamento* limitrophe de Paraíso), ce qui leur confère des caractéristiques différentes pour les critères ayant servi au choix des *assentamentos* (voir Le projet Unaí, démarche de recherche-développement pour appuyer le développement de l'agriculture familiale). Pour identifier les éléments constants d'une exploitation à l'autre afin de concevoir un modèle générique, nous avons cherché à sélectionner des exploitations présentant une certaine diversité. Les exploitations choisies diffèrent donc également selon les critères de :

- Système d'alimentation du troupeau : canne à sucre uniquement vs ensilage en saison sèche, pâturage tournant vs pâturage continu en saison des pluies
- Diversité végétale : 100% fourrages vs céréales, espèces fourragères des pâturages
- Niveau de production laitière : de 25 à 250 L / j lors de notre passage, corrélé à d'autres critères comme la génétique du troupeau, le niveau d'équipements facilitant le travail
- Type de projet : même si la grande majorité des producteurs rencontrés ont l'ambition d'agrandir leur troupeau et d'augmenter leur production laitière, tous n'ont pas la même stratégie (forts / faibles investissements) ni ne commencent par agir sur le même levier : amélioration de la génétique du troupeau, amélioration des pâturages, amélioration de l'alimentation en saison sèche, facilitation du travail

2.2. Protocole de suivi des exploitations

Le suivi s'est déroulé de juillet 2008 à juin 2009 (Figure 3).

Une première série de six entretiens a été réalisée de juillet 2008 à septembre 2008. L'objectif était de comprendre la trajectoire et les projets de l'éleveur, ses pratiques et ses modes de décision, et de décrire la structure de l'exploitation au début du suivi. Les points abordés sont les suivants :

- Trajectoire de l'exploitation
 - Date d'installation
 - Historique du parcellaire : défrichage (dates et coûts), découpage (règles), techniques et coûts d'implantation des pâturages, clôtures, système de distribution d'eau dans l'espace de l'exploitation
 - Evolution de l'assolement : cultures alimentaires vs fourrages, apparition / disparition de certaines cultures fourragères (canne à sucre, maïs ensilage)
 - Evolution du cheptel : expérience en élevage bovin avant l'installation, cheptel à l'installation, date de démarrage de l'activité lait (traite), nombre de vaches laitières au démarrage, date de démarrage de la vente de lait, date et nombre de vaches laitières achetées, évolution des livraisons à la CAPUL
 - Evolution de la main d'œuvre familiale
 - Evolution des bâtiments et équipements d'élevage bovin
- Structure de l'exploitation
 - Main d'œuvre : liste des membres de la famille et des salariés permanents, activités agricoles et non agricoles
 - Terres : cartographie par GPS, assolement
 - Troupeau bovin : inventaire par catégorie, caractéristiques de chaque vache (âge, type génétique, potentiel de production au pic de lactation, périmètre thoracique, date de dernier vêlage, parité), caractéristiques de chaque génisse (âge, type génétique, état de gestation)
 - Autres animaux (espèce, effectif, destination des produits)
 - Equipements / Bâtiments (type, année d'acquisition, prix d'acquisition)
- Conduite du troupeau
 - Gestion des jeunes (âge au sevrage, mortalité, âge de vente, poids de vente, prix de vente, nombre de génisses conservées)
 - Reproduction (mode de reproduction, âge de première mise bas, intervalle entre vêlages, âge de réforme, nombre de vaches réformées)
 - Allotement (règles de constitution des lots, calendrier)

- Production laitière par type génétique (quantité en début de lactation, quantité au pic, date du pic, quantité au tarissement, durée de lactation, quantité par lactation)
- Alimentation (calendrier d'utilisation des ressources fourragères, type et quantité (pesée) de fourrages et de concentrés distribués, sels minéraux)
- Pratiques de traite
 - Conduite des cultures fourragères (dates d'implantation, itinéraires techniques)
 - Organisation du travail (chantiers, opérateur, équipement utilisé, durée)

Un suivi mensuel a ensuite été réalisé de juillet 2008 à juin 2009, pour compléter les informations déclaratives de l'éleveur par une série d'observations et de mesures, établir un diagnostic et disposer de données chiffrées pour alimenter le modèle. Lors de chaque visite, les informations suivantes ont été collectées :

- Conduite du troupeau : réallotements, reproduction (inséminations ou montes), lactation (vêlages et tarissements)
- Alimentation : pratiques du mois en cours, pesée du concentré distribué à chaque vache
- Production laitière : pesée de la production journalière de chaque vache
- Productions fourragères : opérations culturales réalisées au cours du mois (date, parcelle, durée de l'opération, intrants utilisés)
- Achats d'intrants (type, quantité, prix)
- Vente de lait (quantité, prix)
- Achat et vente d'animaux (caractéristiques des animaux, nombre, prix)

La réalisation des visites des mois d'octobre, novembre et décembre 2008, et avril, mai et juin 2009 a été confiée à une étudiante de l'école agricole.

3. Développement de DairyMoTion

Après la phase de suivi, nous avons conçu et développé le modèle DairyMoTion (whole Dairy farm simulaTion Model). DairyMoTion se base d'une part sur un modèle de simulation de l'exploitation laitière conçu dans le contexte marocain d'élevage laitier dans un périmètre irrigué (Le Gal et al., 2009) et d'autre part sur notre analyse du fonctionnement des exploitations laitières suivies.

3.1. Une première application utilisée au Maroc

DALIB est un modèle de simulation de l'exploitation laitière pour la réflexion autour de stratégies de développement de l'activité laitière. Il a été conçu pour être utilisable par les coopératives laitières dans une démarche de conseil au producteur. Une utilisation simple du modèle était donc un critère de développement. DALIB calcule les productions laitières et les résultats économiques de l'exploitation. Les rations ingérées sont calculées par un bilan entre la demande alimentaire émanant du troupeau et l'offre alimentaire produite sur l'exploitation, selon les pratiques de rationnement définies par l'utilisateur. DALIB fonctionne à pas de temps mensuel sur douze mois. Il prend la forme d'un tableur Excel composé de feuilles de saisies de données et de calculs et de feuilles de résultats.

3.2. Développement de DairyMoTion

Le développement de DairyMoTion avait pour ambition d'étendre le domaine d'application de DALIB à d'autres situations d'élevage. Les grands principes de fonctionnement de DALIB ont été conservés. Cependant, plusieurs aspects présents dans les exploitations laitières étudiées ne pouvaient être pris en compte par DALIB. La spécialisation des élevages vers la production laitière entraîne une grande diversité de types génétiques dans les troupeaux. Une distinction par type génétique (jusqu'à trois) a été introduite, pour rendre compte des caractéristiques zootechniques (potentiel de production laitière, paramètres liés à la reproduction) très disparates entre animaux. Dans le cas marocain, tous les jeunes sont vendus à un âge déterminé par l'éleveur, tandis que dans le cas brésilien les génisses sont élevées et intégrées au troupeau de vaches laitières. Les jeunes ont été séparés selon leur sexe pour considérer les devenir différents entre mâles et femelles. DALIB calcule les jeunes présents sur l'exploitation à partir des effectifs des vaches laitières, des dates de vêlage et des paramètres de reproduction. Les stratégies de gestion des jeunes dans les exploitations étudiées diffèrent d'une exploitation à l'autre. Pour prendre en compte l'effectif et l'âge réels des veaux et des vèles, notamment des génisses dans le cas d'une utilisation pluriannuelle du modèle, tous les animaux sont déclarés par l'utilisateur et le modèle simule leur évolution. Une différence majeure entre les systèmes fourragers du cas marocain et du cas brésilien est l'utilisation du pâturage au Brésil. DairyMoTion inclut le pâturage comme ressource fourragère. Enfin, la diversité de types de sols rencontrés sur une même exploitation nous a conduits à introduire la possibilité de décrire trois situations culturelles (représentant une combinaison de type de sol et d'itinéraire technique) pour un même fourrage. La forme de tableur a été conservée. Une macro a été ajoutée pour enchaîner plusieurs simulations permettant une modélisation pluriannuelle de l'exploitation.

4. Elaboration et test de la démarche d'accompagnement

Lors d'un dernier séjour sur le terrain (mars 2010-juin 2010), la démarche d'accompagnement basée sur l'utilisation de DairyMoTion a été testée auprès de deux échantillons de producteurs. Dans un premier temps, une restitution du suivi a été faite auprès des producteurs concernés. Une simulation de l'année du suivi leur a été présentée. Cette étape a permis d'élaborer les procédures de calibration à effectuer avec chaque producteur pour accéder aux variables difficiles d'accès. La démarche en elle-même a ensuite été testée avec ces mêmes producteurs et avec trois producteurs n'ayant pas participé au suivi.

I. INTRODUCTION

Le chapitre 3 présente une analyse comparée des systèmes de production laitière de l'échantillon de six producteurs. En étudiant les facteurs d'adoption d'un benchmark proposé par les différents acteurs du bassin de collecte, il permet de (i) caractériser la diversité de projets et de pratiques des éleveurs (ii) identifier les constantes dans le fonctionnement de ces systèmes et (iii) identifier les difficultés rencontrées par les éleveurs dans la mise en œuvre de leur projet. Ces éléments nous permettront ensuite de poser les bases du fonctionnement du modèle, et de considérer les éléments qui doivent être paramétrables dans le modèle.

II. INVOLVEMENT OF SMALL-SCALE DAIRY FARMS IN AN INDUSTRIAL SUPPLY CHAIN: WHEN PRODUCTION STANDARDS MEET FARM DIVERSITY

J. Bernard¹, P.Y. Le Gal¹, B. Triomphe¹, N. Hostiou² and C.H. Moulin³

¹*CIRAD, UMR Innovation, F-34398, Montpellier, France*

²*INRA, Département Sciences pour l'Action et le Développement, UMR Métafort, 63122, Saint-Genès Champanelle, France*

³*Montpellier SupAgro, UMR ERRC, Montpellier F-34060, France*

Corresponding author: Jennifer Bernard. E-mail: jennifer.bernard@cirad.fr

Abstract

In certain contexts, dairy firms are supplied by small-scale family farms. Firms provide a set of technical and economic recommendations meant to help farmers meet their requirements in terms of the quantity and quality of milk collected. This article analyses how such recommendations may be adopted by studying six farms in Brazil. All farms are beneficiaries of the country's agrarian reforms, but they differ in terms of how they developed their activities, their resources, and their milk collection objectives. First, we built a technical and economic benchmark farm based on recommendations from a dairy firm and farmer advisory institutions. Our analysis of the farms' practices and technical and economic results show that none of the farms in the sample apply all of the benchmark recommendations; however, all farms specialized in dairy production observe the main underlying principles regarding feeding systems and breeding. The decisive factors in whether the benchmark is adopted and successfully implemented are (i) access to the supply chain when a farmer establishes his

activity, (ii) a grasp of reproduction and forage production techniques, and (iii) an understanding of dairy cattle feed dietary rationing principles. The technical problems observed in some cases impact the farms' dairy performance and cash position; this can lead to a process of disinvestment. This dynamic of farms facing production standards suggests that the diversity of specialized livestock farmers should be taken into account more effectively through advisory approaches that combine basic zootechnical training with assistance in planning farm activities over the short and medium term.

Keywords: production model, collective investment, feeding system, cash flow, Brazil

Implications

In a developing country context, the development of milk production depends on small-scale producers who are extremely diverse. Understanding and taking into account such diversity may bring benefits both to farmers and the dairy firms. Farmers may benefit from better-targeted advisory services, while the dairy firms may be in a position to better achieve their objectives.

1. Introduction

Milk production is increasing in developing countries, stimulated by population growth and dietary changes (Delgado et al., 1999). In many regions, production is based on family farms whose herds may range from 2 or 3 cows to over a dozen head, which is generally small compared to Western standards (Aubron et al., 2009; Bartl et al., 2009; Suzuki et al., 2006). These dairy farms may interact with supply chain collectors in three ways: (i) no interaction when the milk market is missing or functioning poorly (Moll et al., 2007; Nkya et al., 2007; Staal et al., 1997); (ii) through short range networks such as artisanal dairies, direct consumer sales, or peddling, with or without product processing, supplying milk products to urban populations and people living near production sites (Corniaux et al., 2005; Dieye et al., 2005); (iii) through milk collection chains managed by agro-processing firms which supply large scale dairies with milk collected from numerous small-scale farmers. In the latter case, cooperatives sometimes are established to play an intermediary collection role between the farmers and the dairy (Holloway et al., 2000; Owango et al., 1998; Sraïri et al., 2009a). The establishment of formal contracts between farmers and supply chain collectors stimulates the adoption of innovative livestock practices (Dieye et al., 2008) such as providing fodder and feed supplements to increase production and lessen seasonal fluctuations, breeding, and improved hygiene. Quality standards are even more stringent when private firms collect milk. Farmers are required to make significant investments in equipment and livestock buildings

(Reardon et al., 2009). In some cases, supply chain operators provide both production standards and the means to implement them (provision of inputs and equipment, services, credit, forums for the exchange of information between farmers). Small-scale farms in the same supply chain area are characterized by diverse trajectories, resources, production objectives, practices, and performance (Holmann et al., 2003; Le Gal et al., 2007). Supply chain operators may regard this diversity as a constraint hindering the adoption of technical recommendations proposed to help farmers meet their quantity and quality objectives and avoid seasonal fluctuations.

Using the example of a supply chain in the *Cerrados* of Brazil, where newly established small-scale dairy farms are linked to an industrial dairy, this article analyzes whether family farms adopt a production benchmark promoted by dairy sector actors and how they diverge from it. After presenting the study method, we describe the proposed production benchmark. We then describe how the six farms in the study diverge from this benchmark before identifying the determining factors explaining this divergence. In the concluding section, we discuss the possible consequences of the farm diversity on the performance of the collection area and actions that could be taken to reduce constraints observed at the farm level.

2. Material and methods

2.1. Context

The study was undertaken in the Municipal District of Unaí-MG (16.35° S, 46.90° W), in the Brazilian state of Minas Gerais. Located in the heart of the *Cerrados*, a vast savannah ecoregion, this District has a tropical climate with two seasons: a 5 to 6 month dry season (April to September), and a rainy season (October to March) in which the annual rainfall of 1200 to 1400 mm is concentrated. The average annual temperature is 24.4°C. A dairy cooperative has been operating there for approximately forty years. It collects 320 000 l/day of milk over a 200 km area. Most of the production is delivered to a dairy firm (Figure 4). The post-milking cold chain is ensured by three types of tanks: individually owned tanks, tanks shared by a few neighboring farmers, and collective tanks owned and managed by formal farmer groups. The payment system, which is set by the dairy firm, includes a base price (0.30 BRL/l in March 2009, or 0.10 EUR/l) and several bonuses and penalties related to the quality (milk protein and fat content, standard plate and somatic cell counts) and quantity of milk delivered (bonus for large suppliers) that can more than double the final price paid to the farmer: -0.13 to +0.17 BRL/l for quality, +0.02 BRL/l for temperature, and up to +0.12 BRL/l for quantities of 300 l/day and over. Small-scale farms (less than 300 l/day according to the cooperative) supply up to 70% of the cooperative's milk collection, which make them of

specific importance for this company. These farms in Unai have an average size of 45 hectares, compared to 620 hectares for large scale farms (IBGE, 2008).

Some of the 1047 suppliers registered in 2007 were beneficiaries of the national agrarian reform process. These farmers obtained land when vast farms were dismantled to create new settlements regrouping several dozen land reform beneficiaries. Each beneficiary was given title to 20 to 100 hectares of land. These farmers favor dairy production because it allows them to earn regular and relatively secure incomes on farms considered to be fairly small by Brazilian standards (Xavier et al., 2007), while benefitting from easy access to credit for inputs whose cost is deducted from milk payments. They sometimes organize themselves into farmer groups to acquire and manage refrigerated milk holding tanks. They account for an important part of the cooperative's milk collection but it is difficult to identify the exact amount. Seven dairy groups are among the 50 largest suppliers; the most important delivered 2.1 million liters of milk in 2007.

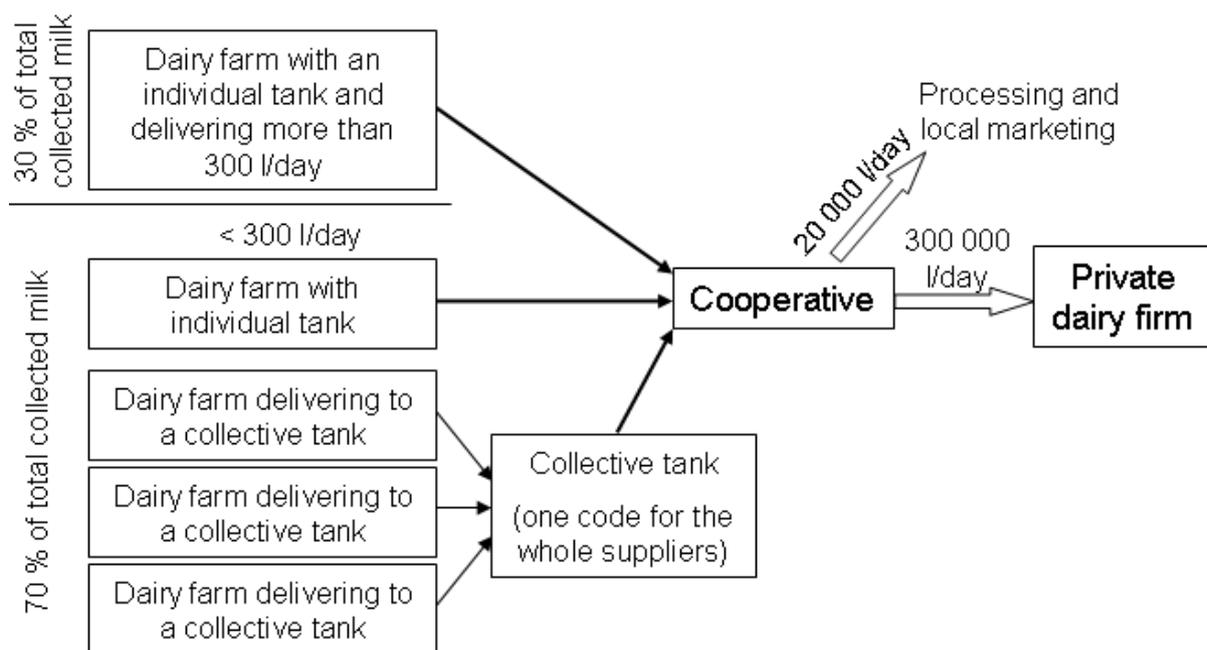


Figure 4 : Simplified representation of the supply chain including the six farms studied

2.2. Case-study methodology and farm sampling

The agrarian reform farms are an interesting basis for a study of the relationship between an industry-defined dairy production benchmark and family farm diversity. For the most part, the beneficiaries of the agrarian reform are still in a learning process stage: none have operated

their farm for >25 years and many have been operating for <10 years. The farms are developing under varying conditions in terms of access to electricity and roads infrastructure, and have different investment capacities.

The study aimed to achieve an in-depth understanding of farmers' strategies and practices and the impact of these on farm performance, to determine why the production benchmark was or was not applied. This objective, combined with a lack of quantitative and qualitative raw data at the farm level, led us to select a case-study methodology based on a small but diversified sample of farms. This methodology is common in research seeking to understand farmers' strategies. It has, for example, been used to study land use by sheep farms (Girard et al., 2001), work organization in dairy farms in Amazonia (Hostiou and Dedieu, 2009), the extension of cattle production into newly cleared forest areas (Muchagata and Brown, 2003), and water use efficiency on dairy farms in irrigation schemes (Sraïri et al., 2009b). Six farms were selected in such a way as to cover a wide range of situations regarding: (i) the date the farmer's settlement was established, (ii) the date the dairy farmers group was established and (iii) the organization of the dairy unit (start of cattle production, herd size, breed) and fodder production (pasture management and type of fodder distributed).

2.3. Data collection

The study with the six farmers took place over a 12 month period (July 2008/June 2009) and combined the collection of qualitative and quantitative data. Semi-structured interviews made it possible to reconstruct the farmer's trajectory from the time he set up his farm to his current mode of operations. Interviews also aimed to identify the rationale for farmer's choices. Quantitative measurements were made to characterize milk production management and to evaluate technical and economic performance. The information collected covered: herd composition and animal movements; milk production of individual cows and dietary rations distributed; grazing schedule; reproduction events (artificial insemination or service, calving); cropping operations and cash flows (sale of milk and meat, purchase of inputs, rental of services). One of the farmers (F5) was monitored only during the first five months of the study due to his limited availability.

Semi-structured interviews also were conducted with research scientists who have worked for many years on providing support to agrarian reform farms (Oliveira et al., 2009) and with professionals working in the agriculture sector. Individuals interviewed included the director of the cooperative, a technical officer of the cooperative, a representative of the main agriculture union, and a technical advisor from the government rural development and support division. Each respondent was asked to (i) describe the production standards in the collection

area, (ii) explain his understanding of small-scale dairy production in the region, (iii) identify the principal problems, and (iv) suggest areas for future improvements, both in terms of technical practices and with regards to institutional levels.

2.4. Data analysis

As the production standards recommended by the various actors in the dairy sector were similar, we reconstructed a “benchmark farm” that combined all of the technical recommendations directed to small-scale dairy farmers. Statistical analyses were not carried out due to the characteristics of the sample, which was small and not statistically representative of the family-based dairy farms in the region. Instead, each of the farms was compared with the benchmark based on its specific characteristics, practices, and outputs. We then formalized the processes explaining the disparities between the proposed benchmark and the choices made by the dairy farmers.

Calculations of the stocking rate use the Brazilian Animal Unit (AU) which corresponds to a 450 kg cow. Calculations of nutritional requirements and the analysis of dietary rations are based on NRC recommendations (NRC, 2001). Milk production calculations are based on quantities sold: the average annual milk yield per cow is equal to the annual volume delivered divided by the average monthly number of cows present, which takes into account the cows' unproductive periods. The daily milk production per cow is equal to the daily quantity delivered divided by the mean number of cows milked the day monitored. Calculations of the gross margin include, on the earnings side, the sale of milk and animals and, on the expenses side, the following categories: forage (production, rental of fields, and direct purchase of fodder), concentrates and mineral salts, and other, including expenses related to veterinary care, reproduction, and the maintenance of equipment and buildings. Milk production cost calculations include under expenses the depreciation of equipment.

3. Results

3.1. A mainstream production model

The benchmark farm was reconstructed by taking into consideration each individual recommendation to be achieved. It is a family farm (a couple and their children) specialized in milk production. It is equipped with a milking parlor with milking buckets, a milk storage tank, a cart and an electric feed mill to prepare the forage fed to cattle. The use of this equipment presumes that the farm is connected to an electricity network.

The daily production objective is 330 l of which 300 l are marketed; this volume is the threshold at which bonuses for quantity begin to be added to milk payments. The genetic type of the herd is a cross of zebu (Gir) and humpless cattle (Holstein) that combines the sturdiness of the Gir breed (notably its resistance to heat and disease) and the productivity of the Holstein. No ratio of Gir /Holstein blood is recommended to farmers, but the cooperative tries to improve the local herd genetics by selling Holstein heifers inseminated with F1 Holstein/Gir semen. The production potential per cow is 4500 l per lactation with a lactation period of 275 days (Freitas et al., 2001), and a peak production of 20 liters (Negrão and Marnet, 2006). The daily production objective is achieved with a herd of 20 cows in lactation, or 26 dairy cows in total given a 90 day drying off period, an average estimated based on the values provided by Guimarães et al. (77 days) (2002) and Ferreira et al. (100 days for heifers) (2001). Five heifers are kept each year to ensure a 20% replacement rate (culling after five lactations). The others are sold when they are between 6 and 12 months old. The dairy cows and their young thus represent 36.25 AU. Artificial insemination is used and it is assumed that the farmer has acquired a liquid nitrogen canister to conserve the frozen sperm.

The feeding system is divided into two periods: 6 months of grazing, from November to April, on grasslands sown with *Brachiaria* (*B. decumbens* and *B. brizantha*), and 6 months of foddering, from May to October. Grazing takes place in rapid rotation (3 days of grazing, 30 days of regrowth) and fertilizers are used on pastures; this makes it possible to achieve a production of 20 t DM (dry matter)/ha (Oliveira, 2006). During the rainy season, 7.1 ha of grassland are required to feed the entire herd. Foddering during the dry season is obtained with green sugar cane or silage fodder: maize, sorghum, or Napier grass, distributed ad libitum, or a daily quantity of 13 kg DM/cow. To meet the needs of the herd over 6 months (maintenance and lactation/growth requirements), 4.5 ha must be sown with cane and 5.8 ha with silage maize, based on respective DM yields of 17.25 t/ha and 13.5 t/ha and nutritional attributes as found in the literature for similar conditions of production (Lana, 2003). Each type of forage is distributed over half of the dry season. Depending on the type of dry season forage, and without taking into account the replacement of pasture and forage plots, a total of 11.6 to 12.9 ha is thus required to feed the herd throughout the year. This required area is much smaller than the average small-scale farm area found in the region and in the sample (Tableau 2). This difference leads us to assume that smallholder dairy farms are less efficient regarding forage yields and pasture productivity than expected in the benchmark.

The herd is given supplements throughout the year; the recommended amounts are 1 kg of 22% crude protein concentrate for 2 to 4 liters of milk produced. This concentrate is supplied by the milk collector to compensate for the low but variable protein content of local pastures

and forages. If these technical recommendations are implemented, and assuming the desired technical performances are realized, the variable production cost is estimated to be 0.39 BRL/l. Given the current base price, this benchmark farm is profitable only if the farmer earns bonuses for quality. This profit must cover the opportunity cost of family labor and the fixed costs linked to livestock buildings and equipment that were not included in our calculations as they were difficult to estimate in that context.

3.2. Actions in the farmers' environment to facilitate the spread of the benchmark

The cooperative only collects milk from farmers who have access to a refrigerated milk tank which is essential for the maintenance of the cold chain. Farmers who do not have access are excluded from the collection. In the most recently established settlements, where infrastructure (electricity, water, roads) was previously nonexistent, access is contingent initially on public investments. Afterwards, it depends on the capacity of farmers to organize themselves into groups to purchase and manage a collective storage tank. Such group acquisitions make it possible for many small-scale farmers to engage in dairy production. The research-development project conducted by EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) in this region contributed to the emergence of such groups (Oliveira et al., 2008). Farmers may also deliver milk through individual arrangements with other farmers who already have the required equipment.

The payment system established by the dairy firm aims to incite farmers to produce high chemical and bacteriological quality milk while adjusting the quantity delivered to meet the market demand. This system is supported by a series of measures giving farmers the means to achieve these quantity and quality objectives. The dairy cooperative and other businesses in the region ensure the marketing of inputs, genetics (improved heifers, bull semen) and dairy production equipment. Technical and veterinary advice and practical training also are given to all interested members at the cooperative's head office. Finally, a technical-economic support program has been implemented for three groups of fifteen farmers who deliver more than 300 l/day. However, as they do not attain this production, none of the farms in our sample participate in this program.

3.3. Comparison of farms with the benchmark

As we shall explain below, none of the sample farms, referred to henceforth as F1, F2, F3, F4, F5, and F6, correspond exactly to the benchmark farm in terms of its structure or production

system (Tableau 2). The sale of milk to the cooperative constitutes the main source of revenue for five of the farms, only F4 has not specialized in dairy farming, combining instead crop production with dual purpose cattle production. None of the farms earn off-farm income. In the six cases, farm work is carried out exclusively by the farmer and his wife, although all have one to three children, and the available land is sufficiently large to implement the benchmark recommendations. F1 and F3 are equipped with a milking parlor with milking buckets and an individual storage tank. F2, F4, F5, and F6 milk cows manually and deliver the output via a collective tank. In contrast, all of the farms are equipped with an electric feed mill to prepare forage. The percentage of the cultivated area in relation to the total area varies from 63 to 98% depending on how much of the land has been cleared of residual Cerrado forest (F5) and whether some land is inappropriate for cultivation (F4) or unproductive under the techniques used by the farmer (F2). The number of cattle is less than or equal (F1) to the benchmark herd. Only F1 and F2 own a majority of Gir-Holstein animals, the recommended genetic type. Production at the peak of lactation, reflecting in part the genetic potential of the cows, shows that the cows on F1 and F3 (mostly Gir-Holstein and Holstein) correspond to the potential targeted in the benchmark (Tableau 2).

Tableau 2 : Structural circumstances of the benchmark farm and of the six farms studied (base 100 for the benchmark)

	Bench	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Farm size (ha)	12.0 (100)	22.5 (188)	18.8 (157)	28.8 (240)	32.0 (267)	20.1 (168)	27.6 (230)
Production pattern	D	D, M _s	D, M _s	D	D, B, M _d , R _d , V _d	D, M _s R _s , N _s	D, M _s
% cultivated	100	97	70	98	80	63	92
% pasture	58	74	47	90	72	47	61
% forage (sugarcane, maize, sorghum, Napier grass)	42	21	20	8	2	2	11
% crops non fodder ^a	0	2	3	0	6	14	20
Number of cows	26 (100)	26 (100)	9 (35)	16 (67)	9 (35)	11 (42)	21 (81)

Average cow body weight (kg)	500	533	517	511	447	434	500
Breeds (% Gir-Hol)	100	100	90	23	0	10	50
Lactation peak production (l/day per cow)	20	20.6	14.0	22.8	6.0	6.6	15.0
	(100)	(103)	(70)	(114)	(30)	(33)	(76)
Standard deviation (number of cows)		6.3	4.8	6.1	1.9	2.8	4.6
		(31)	(11)	(17)	(7)	(12)	(32)

D = Dairy cattle; B = Beef cattle; M = Maize; R = Rice; N = Bean; V = Vegetables; s = self consumption, d = sold, Hol = Holstein Friesian cattle

^a Production levels and sales were not collected in the survey. F4 is the only case selling non fodder production.

The recommended feeding system is found on four farms (Tableau 3). F1, F2, F3, and F6 have fodder crop areas of at least 0.1 ha/AU, which enables them to distribute forage over 170 to 200 days of the dry season. However, the daily dietary rations distributed are slightly less than those recommended. Feeding during the rainy season is based on grazing, but with a fairly low stocking rate: 0.96 to 2.16 against the 5.07 AU/ha recommended. Only F2 follows the recommended rapid rotation, with a stocking density of the lactating cow batch accounting for 46.7 AU/ha. The farm's pastures are not always sufficient, highlighting a productivity problem. When this is the case, animals are sent to graze on other farms. In contrast, the feeding systems on F4 and F5 diverge widely from the benchmark. Forage crop areas are very small, leading to a very short period of trough distribution (76 days on F4) or very low quantities distributed (3 kg DM/day per AU on F5). On these farms, pasture intake deduced from the observed milk production during the dry season would be the equivalent of half the dry matter lactating cows need (Tableau 4). All of the specialized farmers systematically distribute concentrates. F4 limits himself to occasional distributions. F1, F2, and F3 purchase their concentrates at the cooperative and distribute it proportionally to individual production. F5 and F6 make a dietary ration based on maize, soya, and cotton that is partially produced on-farm.

Tableau 3 : Feeding systems of the benchmark farm and of the six farms studied (base 100 for the benchmark)

	Bench	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Pasture stocking rate (AU/ha)	5.07 (100)	2.16 (43)	1.79 (35)	0.96 (19)	0.61 (12)	1.79 (35)	1.67 (33)
Stocking density of lactating cows batch (AU/ha)	50.0 (100)	17.5 (35)	46.7 (93)	5.5 (11)	0.9 (2)	4.3 (9)	12.7 (26)
Renting of pasture	No	Hf	No	No	No	Cw	Cw
Fodder availability per animal (ha/AU)	0.14 (100)	0.13 (94)	0.24 (166)	0.09 (65)	0.05 (33)	0.02 (12)	0.11 (78)
Length of the feeding period (day)	184 (100)	199 (108)	197 (107)	170 (92)	76 (41)	200 (109)	200 (109)
Fodder type	Sil or Sc	Sil then Sc	Sil then Sc	Sil and Sc	Sc	Sc	Sc
Fodder purchase	no	no	yes	no	no	no	no
Quantity of fodder supplied (kgDM/day per cow)	13 (100)	10 (77)	6 (46)	10.4 (80)	5.8 (45)	3.5 (27)	12 (92)
Type of concentrate	Mk	Mk	Mk	Mk	Mk	Sm	Sm
Quantity of concentrates supplied (kg/year per cow)	2200 (100)	1927 (88)	1196 (54)	1270 (58)	240 (11)	995 (45)	682 (31)

Hf = for heifers; Cw = for dairy cows; Sc = sugarcane; Sil = silage; Mk = bought on the market; Sm = Self-made

Tableau 4 : Average dietary rations of lactating cows in dry season (base 100 for the benchmark)

	Bench	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Ingested fodder ^a							
Sugarcane (kg DM)	13			2.7	5.8	3.5	
Sugarcane + urea (kg DM)		10	6				12
Maize silage (kg DM)				7.7			
Pasture ^b (kg DM)					4.2	9.7	
Concentrate ^c (kg DM)	4.8	5.9	2.9	4.3	1.7	1.5 ^d	4.1 ^d
	(100)	(123)	(60)	(90)	(35)	(31)	(85)
Energy in the distributed dietary ration (Mcal)	26.5	24.6	13.4	22.6	11.1	8.1	21.6
	(100)	(93)	(51)	(85)	(42)	(31)	(82)
Protein in the distributed dietary ration ^e (kg Metabolizable Protein)	1.39	1.67	1.18	1.19	0.45	0.35	1.04
	(100)	(120)	(85)	(86)	(32)	(25)	(75)
Daily milk yield induced by the distributed dietary ration (l/day per cow)	16.5	22.6	7.5	14.9	1.6	0	12.2
	(100)	(137)	(45)	(90)	(10)	(0)	(74)
Daily milk yield observed (l/day per cow)	16.5	15.0	8.6	16.2	4.8	7.1	12.2
	(100)	(91)	(52)	(98)	(29)	(43)	(74)

^a Nutritional values from Lana, 2003: Sugarcane: 4.31% Crude Protein (CP) / 60.7% Total digestible nutrient(TDN) ; Maize silage: 8.03% CP / 63% TDN

^b Quantity required for achieving the monitored production

^c 22%CP / 80%TDN

^d Quantity of market concentrate (22% CP) supplying the equivalent metabolizable protein quantity of self-made concentrate feed

^e Including fodder, concentrate and urea

Only three farms employ artificial insemination (Tableau 5). F3 and F6 are equipped with a liquid nitrogen canister to inseminate their cows on their own while F5 has his cows inseminated by a neighbor. While natural mating is logical on F4, which is a non-specialized

farm with a mixed herd, F1 and F2, which in contrast have adopted recommendations regarding breeds and feed, also rely on natural mating. The management of calves also differs from the benchmark. F4, F5, and F6 wean calves late; males are sold at widely varying ages, less than or over the 6 months recommended.

Tableau 5 : Dairy practices and performances of the benchmark farm and of the six farms studied (base 100 for the benchmark)

	Bench	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Reproduction technique	AI	Na	Na	AI	Na	AI	AI
Calving-to-conception interval in days	90 (100)	97 (107)	144 (160)	150 (167)	164 (182)	185 (205)	145 (161)
Standard deviation (number of cows)		67 (31)	106 (8)	57 (12)	49 (6)	77 (6)	103 (14)
Weaning age of calves (month)	3	2 (♀)	2	2	8	6	9
Sale age of male calves (month)	6	no	12	5-12	8	6	9
Lactation length (day)	275 (100)	330 (120)	342 (124)	329 (120)	271 (99)	327 (119)	301 (109)
Standard deviation (number of cows)		57 (17)	173 (4)	35 (9)	110 (3)	64 (4)	135 (8)
Dry period length (day)	85 (100)	37 (44)	72 (85)	91 (108)	163 (191)	128 (150)	114 (135)
Average annual milk yield per cow (l/year per cow)	4212 (100)	3802 (90)	2724 (65)	3428 (81)	977 (23)	1327 (32)	2374 (56)
Average daily milk yield per lactating cow (l)	15 (100)	13 (86)	9 (64)	13 (91)	6 (40)	7 (44)	8 (51)
Milk delivered (l/day)	300	271	67	150	24	40	144

AI = Artificial insemination; Na = Natural mating; ♀ = female only – male killed

The daily quantities of milk delivered are less than the objective targeted in the benchmark (from 8 to 90 percent of the targeted 300 l/day), with F1 reaching closest to the target (Tableau 5). This is due first to the smaller herd size, with the exception of F1, and then to the productivity per cow. With a production per cow and per year of 3800 liters, F1 again comes closest to the results expected in the benchmark, evaluated at 4200 liters. This result is explained by a good average productivity per day and per lactating cow, a one year interval between calving and a long lactation period. F2, F3, and F6 have a lower per cow and per year production despite the partial adoption of benchmark techniques. This is linked to lower reproduction performance, with calving to conception intervals of 145-150 days and 14 month intervals between two calvings, associating long lactation periods with longer drying off. Production per day and per lactating cow also is lower on F2 and F6. Reproduction and milk production benchmark performances thus are not achieved despite the partial adoption of recommendations. Lastly, performances are well below the benchmark on F4 and F5, but are consistent with low output breeds and a reliance on grazing even in the dry season, during which the production made possible by forage and the consumption of concentrates by each cow is low and very low on the two respective farms (Tableau 4).

This diversity leads to a large variability of production cost per liter of milk, an indicator which combines the level of milk productivity and the type of practices used by the farmers (Figure 5). F4's costs are the lowest and fall below the base price of milk due to the farmer's lower investment in dairy production. The other farms follow the benchmark case with costs ranging between the base and final milk price which include premiums linked to milk quality. F2 and F3 have the highest costs. In the case of F2, this is due to silage expenses; in the case of F3, to the purchase of concentrates - that nevertheless do not translate into better performance - and more regular veterinary care. F1, F5, and F6 have production expenses close to the benchmark, both in terms of total amount and of expense origins. Despite these production costs exceeding the milk base price, total dairy gross margins per farm are positive for the whole sample thanks to the premium paid by the cooperative for milk quality (Figure 5). The total dairy gross margin per farm is linked to the herd size (Figure 6), which highlights primarily an effect of scale but also the variability of stocking rate per farm within the sample (Tableau 3). For instance F1 shows a larger herd and higher gross margin than F6 with similar forage and pasture areas. This variability of practices and of impact on technical and economic performances is also highlighted by the fact that there is no link between the gross margin per cow and the production cost. For instance, with similar productions costs, F5 and F6 perform poorly compared to F1 (Figure 7). As a result, F4 has the lowest revenue due to a small herd with a low productivity per cow, while F1 performs better than the benchmark thanks to a very efficient use of inputs and a large herd. F2 and F3 do not translate their high

production costs into high revenues, while F6 earns much lower revenue than F1 with a similar herd size.

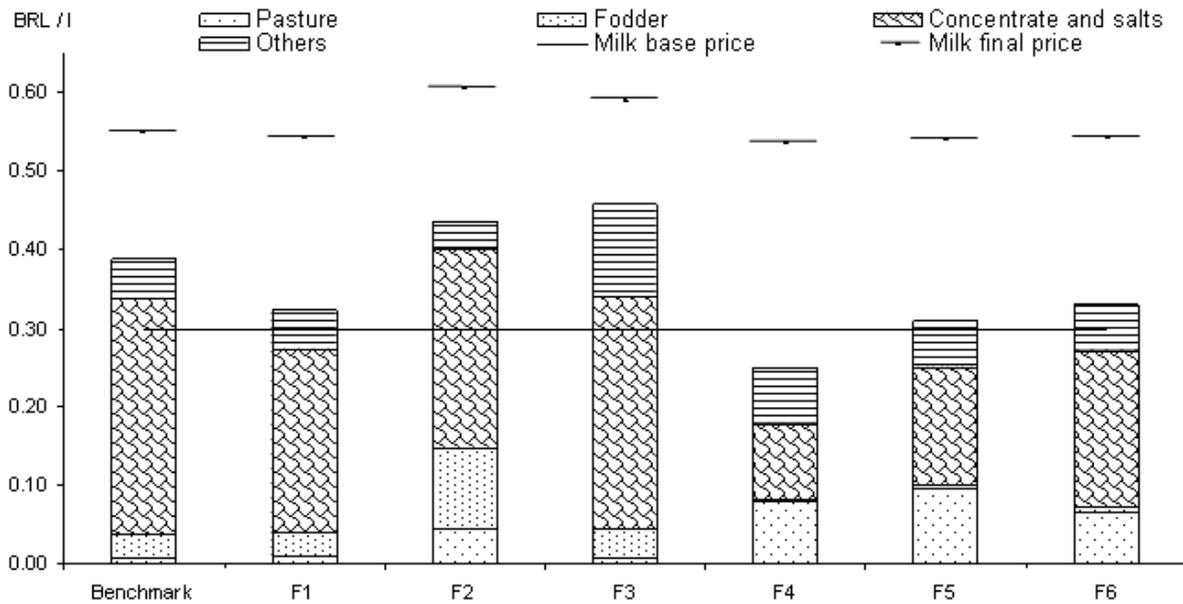


Figure 5 : Production cost for a liter of milk and distribution of expenses per origin in the benchmark and the six farms studied

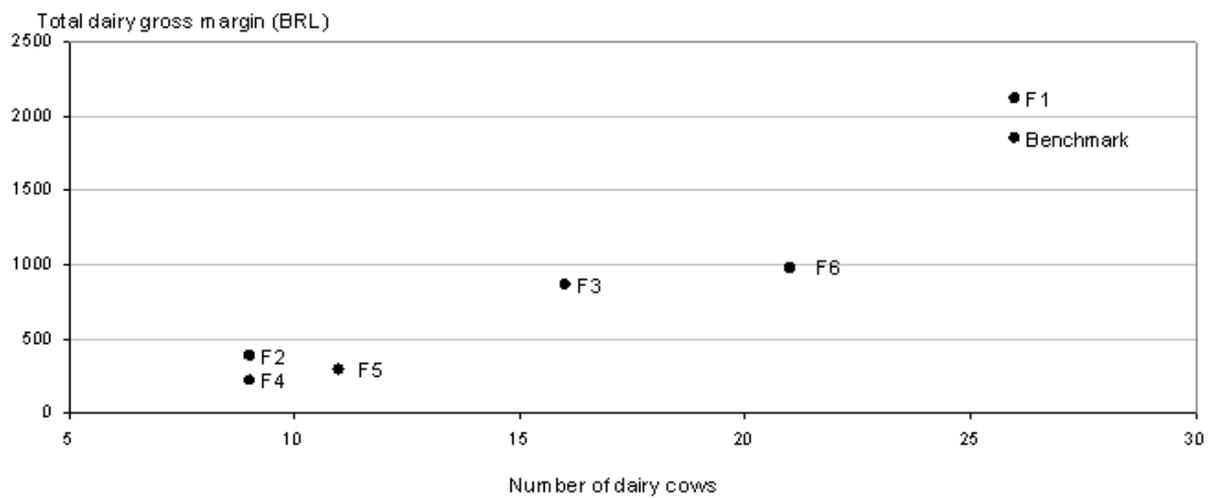


Figure 6 : Relationship between herd size and total livestock gross margin in the benchmark and the six farms studied

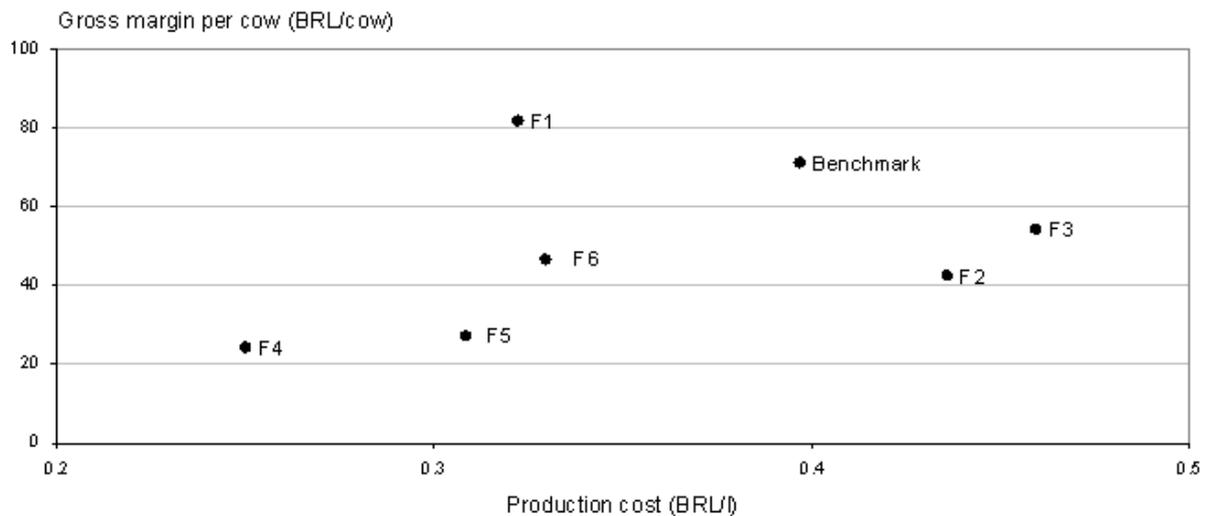


Figure 7 : Relationship between production cost and total livestock gross margin per cow in the benchmark and the six farms studied

3.4. Farm dynamics and farmers' strategies

This analysis shows that none of the farms in the study conform completely to the recommended production benchmark. However, three types of positions emerge in our sample in relation to the production benchmark proposed by actors farther down the dairy supply chain.

One group, composed of F1, F3, and F6, is positioned to immediately implement the benchmark. They established their farm with a dairy project in mind based on a relatively large herd (over 15 head) and a projected production of over 140 l/day. They aim to produce about 500 l/day within a few years without actually knowing whether this is feasible. Their establishment several years after their settlement was created allowed them to benefit upon their arrival from prior investments in (i) roads, electricity, and water networks, (ii) milk tanks owned collectively or shared by individuals (Figure 8). The livestock feeding practices assume to supply a sufficient dietary ration for the entire herd. Grasslands used for rotational grazing are sown in a uniform and dense fashion which farmers keep from being invaded by ligneous plants. They were set up before the purchase of the animals.

This type of management achieves the best results in the sample both in terms of the estimated productivity of the pastures, from 3.6 to 4.6 t DM/ha per year, and with regards to milk productivity, by combining high stocking rates and output per cow. This type of management remains nevertheless markedly less productive than that proposed in the benchmark as no nitrogen fertilizer is applied after the grasslands are established. The size of

the area under forage crops is determined to meet herd requirements and on-demand distribution of forage in order to maintain a production equal to that of the rainy season. The choice between ensilage and sugar cane is made according to the available areas (F1), the nutritive quality of the forage produced (F3), or the crop production cost (F6). The quantities distributed come close to the recommended 13 kg DM. Distributed concentrate is the cooperative's concentrate or a mix of rich feed, but in both cases quantities are those recommended by the commercial feed manufacturer. The objective is to let dairy cows realize their potential. Room for progress is possible in the area of reproduction performance to achieve the annual benchmark performance. Although the dairy revenues of these three farms always are positive, they are very different, highlighting the difficulties encountered by F3 and F6 in translating input consumption into high milk productivity.

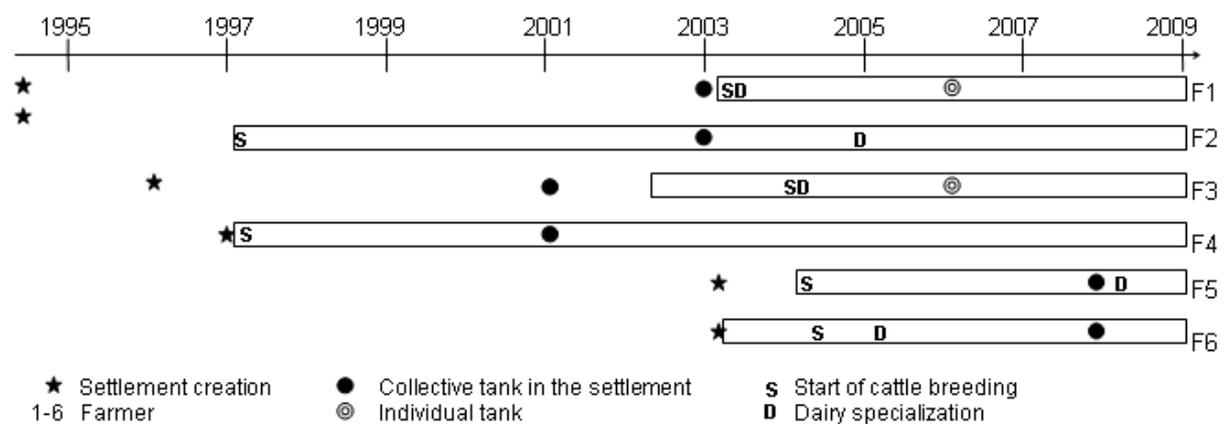


Figure 8 : Trajectory of the six farms studied

A second group, composed of F2 and F5, is trying to achieve the benchmark in successive stages. They established their farms to achieve a better standard of living than that of a farm worker. The dairy activity developed as their farms evolved and is based on herds of a dozen cows and a production of 40 to 70 l/day. Their current objective is limited to the short term (the following year) and to a production threshold of 150 l/day. This group corresponds to farms that began dairy production on the basis of limited initial investments and are counting on internal herd growth to increase production. The feeding system is characterized by grasslands used for rotational grazing where the species sown do not cover the entire area and where there is a significant density of ligneous plants. They were grazed very rapidly after being sown because the farmers already owned a herd (F2) or were progressively constituted to accompany the enlargement of the herd and to diminish the initial investment (F5).

The size of the area under forage crops is determined to adjust the sown area to cash available at the moment of sowing. Forage can be purchased if there is a deficit during the dry season (F2). This strategy proves to be difficult to implement as it requires a sufficient amount of cash to purchase the forage needed to cover the nutritional needs of the entire herd, including non productive heifers. In the case of F5, the dietary ration is adapted to the forage availability. These farms thus find themselves caught in a vicious circle where a lack of cash limits the purchase of forage and investment in grasslands, leading to unbalanced dietary rations. This in turn impacts milk production and dairy revenues, whose mediocre levels do not make it possible to improve significantly the farm's cash position.

The third group, composed of F4, corresponds to a coherent farming system in which the dairy unit's secondary role is matched by low expenditures. The size of the herd therefore is limited (less than 10 cows) and the milk production delivered is low (less than 25 l/day). Consequently, while the cows' yields are low, so are production costs, which are the only ones to be less than the base price paid by the cooperative. This group thus has the opportunity to earn a low positive revenue from the dairy activity, complemented by revenues from meat production. However, from the cooperative's point of view, this group is not very interesting as it cannot contribute to an increased quantity of milk collected.

The first two groups constitute, in contrast, the cooperative's preferred targets in order to increase its milk supply. However, the fact that their production costs are above the current base price shows how sensitive these systems are to fluctuations in the base price (the base price was cut in half between the start and end of the study) and to the nature of the qualitative and quantitative bonuses. The rationale of the proposed production benchmark is not fundamentally called into question by these farms, but its implementation can run up against both financial and technical capacity constraints that affect farm performance. Their repercussions may be felt over several years depending on the joint dynamics of the herd and forage areas.

4. Discussion

The benchmark reconstructed here for the needs of the analysis was not recommended as such to the farmers. This technical system possesses its own internal rationale based on the combination of a certain herd size with a sound grasp of feeding and reproduction principles. This combination renders it possible to make the most of dairy cows' genetic merit and to earn a significant income from a dairy activity conducted on a small-scale farm. However, it

assumes a very intensive production system since the expected milk production accounts for 9140 l/ha of pasture and forage. This performance is much higher than the 2200 l/ha observed on large-scale dairy farms in the same area (around 250 ha devoted to 160 dairy cows per farm) (Carvalho et al., 2009). It was never observed on farms in the sample, where the best farm (F1) reached 4600 l/ha. This large gap would suggest that the expected yields of pasture and forage used in the benchmark are overestimated, especially since variations between years and loss of productivity are not taken into account. The production costs calculated on our sample demonstrate that such a benchmark is economically viable with the current milk price only if the farmer is able to benefit from the bonuses linked to the quality and quantity of milk delivered. This holds even truer when the fixed expenses related to investments in the herd and equipment are taken into account. In such a pricing context, the implementation of this benchmark involves taking a risk that farmers must manage according to their own constraints and dynamics.

Five of the six farms studied pursued an objective of dairy specialization based on a technical system close to the benchmark. This system, characterized by the joint utilization of forage crops during the dry season and concentrates throughout the year, is common on the small-scale farms located in the *Cerrados* area (Bainville et al., 2005). It allows them to obtain a regular income from a dairy supply chain that is well structured in Brazil. The supply chain is based on an increasing market demand and large industrial firms and cooperatives that are ready to collect milk over large areas as long as milk conservation can be ensured. Nevertheless, the farms in our sample showed a variability of income resulting both from scale effects and capacity to translate inputs into high milk productivity. This variability of technical and economic performances is linked to differences in terms of dairy orientation and cropping and dairy practices that derive from three types of factors affecting the farmers' strategies. The first involve the farm environment in terms of infrastructure and utilities. In their absence, an agro-processing industry such as the dairy industry, one that involves perishable primary material and continuous flows, cannot include among their suppliers small-scale farmers delivering low individual volumes. The Brazilian case emphasizes the importance of synchronizing collective investments, whether public or private, and individual decisions. Once these investments are made, the involvement of farmers in the collective management of refrigerated milk tanks stimulates an increase and improvement in production (Oliveira et al., 2006).

The second category of factors pertains to the individual strategic choices of farmers and their interest in dairy activities. The example of F4 shows that not everyone will choose an activity in which production costs are relatively high and sale prices are not necessarily attractive. The

decisions of actors farther down the supply chain regarding the payment system and related services (supply of inputs, credit) are decisive elements in the farmers' own decisions to respond to the dairy firm's demand for milk. However, other elements may interfere in this client-supplier relationship: on the side of farmers, competition with other agri-food supply chains; on the side of the dairy processor, market demand (growth or fall) and the opportunity to find other sources of supply. In the Brazilian case, the small-scale farmers on agrarian reform farms are at a disadvantage. While they have few production alternatives, the cooperative collects over an area in which it may be possible to locate more efficient suppliers.

The third category of factors involves the mastery of techniques proposed in the benchmark to maximize the animals' genetic potential. The problems found in Brazil regarding animal reproduction and feeding are widespread on this type of farm (Espinoza-Ortega et al., 2007; Ferreira et al., 2007; Tillard et al., 2008). While the interval between calving on farms practicing artificial insemination is longer than 415 days, indicating problems with fertility, it corresponds to the average results recorded in Brazil for livestock farmers of Gir-Hostein crossbreeds (Facó et al., 2005). Not all livestock farmers have extensive experience feeding animals and some are even unfamiliar with feed formulation principles. At the level of the cow, this leads to the design of unbalanced dietary rations; at the level of the farm, to shortages of forage supplies. The planning of forage supplies based on estimates of annual herd requirements is a difficult task for which farmers do not yet appear to be adequately prepared. Moreover, the technical system is based on high hypothetical pasture and fodder yields that need to be investigated further under farmer field conditions, especially in relation to fertilization management. Farmers tend to consider that the best way of increasing revenues is by increasing herd size. However, higher production objectives cannot be achieved without more intensive pasture management because nearly all available land on the farms is already under cultivation.

Unbalanced dietary rations have a direct impact on a farm's dairy performance, and consequently on the farm's cash position. These financing difficulties often reflect choices made by livestock farmers that can lead them onto a path of disinvestment which is the opposite of that proposed by the benchmark: reduction in herd numbers, poor maintenance of pastures, under feeding of animals. Despite these difficulties, the performances observed in the farm sample show that intensifying dairy production can be a profitable strategy. But this profit is sensitive to the milk pricing context and the farmers' capacity to control the biotechnical processes leading to high cow productivity and good quality of milk. Controlling milk quality, both chemical and hygienic, is particularly critical when dairy revenues are

linked to the quality premium paid by the milk collector, as was the case during this study. It is closely linked to farmers' feeding and milking practices, that are quite variable in small-scale farms (Sraïri et al., 2009a). In that respect significant improvements could be achieved assuming relevant support is provided to small-scale farmers. This point is being explored further with the design and testing of an advisory approach for dairy farmers based on the use of a simulation tool whose original version was tested in Morocco (Le Gal et al., 2009). The objective is to provide personalized assistance to livestock farmers using scenarios that make it possible to compare the different development options that are available to their farming systems given their objectives and investment capacities. The hypothesis is that this tool will become integrated into advisory programs implemented by the cooperative, complementing training programs on the basic knowledge needed to master dairy farming techniques, such as animal feeding and milking or forage cultivation.

This example confirms that it is possible for small-scale farmers to become involved in an agro-industrial sector such as dairy. Within such sectors, they find a means of accessing inputs and markets that otherwise would be closed to them. Meanwhile, agro-processing firms find a source of raw material at a cost that can be equivalent or less than that of large farms (Carvalho et al., 2009). This situation also is encountered in Morocco on large-scale irrigated schemes (Le Gal et al., 2007), in Peru where industrial and small processing firms are competing in the same supply areas (Aubron, 2007), and Eastern European countries where the privatization of the dairy sector has not been accompanied by a reduction in the number of small farms (Dries et al., 2009).

5. Conclusion

The involvement of small-scale farmers in an industrial dairy supply chain leads to a diversity in production forms. The technical and economic benchmark proposed by the dairy cooperative cannot be systematically or entirely adopted by this type of farmer, particularly when the farm is still in the process of being established. The reasons identified pertain as much to the farmers' environment as to each farm's own evolution. The farms where milk is a side activity have no economic interest in following the benchmark recommendations. Indeed, they are not the preferred target of the cooperative because they generally deliver small and irregular volumes. The farms trying to implement benchmark recommendations, and on which milk collection is based, are sometimes hindered by inadequate technical skills that diminish their performance. Consequently, intensive production strategies do not systematically lead to higher revenues but can, in some cases, lead to disinvestment in dairy activities.

This dynamic rapidly results in a diversity of situations that the cooperative should recognize when setting supply policy (should certain farmers be excluded through a dissuasive pricing policy?) and when organizing support for farmers interested in developing a dairy activity. Should the same technical package be provided to everyone, or should farmers be accompanied in a more individual manner that is adapted to the development dynamic of individual livestock farms? These issues should be addressed by both farmers and collectors in the framework of innovative decision support approaches that remain absent in the Brazilian case studied here.

Acknowledgements

The authors thank Davi de Jesus Soaris da Silva and Maria da Conceição Silva Soares for their logistical and technical support during the interviews with the farmers, Marcelo Nascimento de Oliveira, research scientist at Embrapa, for his advice and his documentary contribution to the study, and Eric Scopel, research scientist at Cirad, who facilitated and guided the field work. They also thank the farmers in the working group for their time and patience during the study. We are grateful to Grace Delobel for translating this paper from French to English.

I. INTRODUCTION

Le chapitre 3 présentait une analyse comparée des six exploitations étudiées entre elles et par rapport à un benchmark reconstitué à partir de différentes recommandations adressées au producteur laitier par différents acteurs du bassin de collecte. Les différents éléments mis en évidence vont guider nos choix dans la conception du modèle. En identifiant les facteurs de réussite dans la mise en œuvre de ce benchmark, le chapitre précédent a montré que les exploitations se caractérisent tout d'abord par la diversité de projets des éleveurs. Cet aspect nous conduit à considérer la dimension stratégique dans la conception du modèle, notamment sur les questions de dimensionnement des ateliers, de types d'animaux élevés, de dynamique d'agrandissement. Ce dernier point nous amène aussi à considérer l'échelle de temps pluriannuelle. Les problèmes identifiés relatifs à l'alimentation du troupeau fait de l'équilibre entre demande et offre fourragère une question centrale dans ces exploitations. Une mauvaise maîtrise des principes de rationnement est également une cause importante de faibles performances dans certaines de ces exploitations. Les disparités des performances de reproduction nous amènent à laisser ces variables paramétrables par l'utilisateur. Enfin, la trésorerie sera intégrée au modèle.

Le chapitre 4 décrit le développement du modèle de simulation DairyMoTion (whole Dairy farm simulaTion Model), la démarche d'accompagnement proposée et trois cas d'utilisation auprès de producteurs de lait de la zone d'étude.

II. DAIRYMOtION, UN MODÈLE DE SIMULATION DE L'EXPLOITATION LAITIÈRE POUR ACCOMPAGNER LES ÉLEVEURS DANS LA CONSTRUCTION DE STRATÉGIES DE PRODUCTION INNOVANTES

J. Bernard ^a, P.-Y. Le Gal ^a, C.- H. Moulin ^{b,c}

^a CIRAD, UMR Innovation, Montpellier F-34398, France

^b Montpellier SupAgro, UMR ERRC, Montpellier F-34060, France

^c INRA, UMR ERRC, Montpellier F-34060, France

Corresponding author: Pierre-Yves Le Gal. E-mail: pierre-yves.le_gal@cirad. Tel.: +33-46761-5639; fax.: +33-46761-4415

Article soumis à Agricultural Systems

Résumé

Les exploitations laitières sont des systèmes de production complexes qui combinent différents ateliers. La modélisation peut être un outil utile pour représenter ces relations complexes et explorer de nouvelles combinaisons en évaluant *ex-ante* leurs impacts sur les performances techniques, économiques et environnementales des systèmes de production étudiés. L'article présente un modèle de simulation dénommé DairyMoTion, qui vise à aider les producteurs laitiers à réfléchir à différentes stratégies d'élevage tout en étant utilisable par des conseillers agricoles. La structure et le fonctionnement de DairyMoTion sont décrits puis la démarche d'accompagnement proposée est illustrée à partir de trois exemples d'utilisation avec des exploitations étudiées dans le cours de la recherche. Dans les trois cas présentés, les différentes étapes de la démarche ont permis à l'éleveur de préciser son projet d'évolution de son système de production. De la formulation du premier scénario à la discussion finale, le travail par itération permet au producteur de structurer et préciser ses idées, de s'orienter vers d'autres solutions, ou d'élargir la réflexion, le tout sur la base des éléments chiffrés fournis par les simulations. La discussion revient sur les intérêts et limites de la démarche suivie par rapport aux modèles existants et dresse les perspectives d'utilisation avec des conseillers agricoles.

Mots-clé : système de production, outil de simulation, conseil, Brésil

Keywords: production system, simulation tool, advice, Brazil

1. Introduction

Les exploitations laitières doivent s'adapter pour répondre aux changements de conditions de marché, tels que la forte volatilité des prix du lait au niveau mondial ou la croissance de la demande des consommateurs dans les pays émergents et en développement. De nouvelles demandes sociétales apparaissent également, qu'elles concernent la qualité nutritionnelle des produits, un moindre impact sur l'environnement ou la préservation de la biodiversité et des paysages (Burrell, 2004). Ces changements de contexte amènent les producteurs à s'interroger sur les évolutions à engager à court terme concernant la planification de la conduite des cultures et des troupeaux à l'échelle de l'année, et à moyen-terme quant au choix des activités productives, au dimensionnement des ateliers végétaux et animaux et aux investissements à réaliser. Les structures de conseil agricole sont sollicitées pour les aider à réaliser ces choix tactiques et stratégiques mais doivent renouveler leurs démarches d'accompagnement pour ce faire (Cerf and Hemidy, 1999; Magne and Ingrand, 2004).

A l'exception d'unités totalement hors-sol, les exploitations laitières combinent des ateliers d'élevage (lait éventuellement associé à la production de viande *via* l'engraissement des vaches de réforme et des jeunes) et des ateliers de production fourragère, éventuellement associés à des productions végétales alimentaires (Chardon et al., 2009; Thornton and Herrero, 2001). Elles se caractérisent par des relations complexes entre les différents ateliers, incluant (i) l'adéquation pendant l'année entre demande alimentaire du troupeau et offre fourragère produite sur l'exploitation, (ii) la part des achats d'aliments dans le système alimentaire, (iii) l'impact des décisions prises sur la demande en travail, (iv) la gestion des déjections animales vues comme un polluant ou un fertilisant. La modélisation s'avère un outil utile pour représenter ces relations complexes et explorer de nouvelles combinaisons en évaluant *ex-ante* leurs impacts sur les performances techniques, économiques et environnementales des systèmes de production étudiés (Ahuja et al., 2007). Son utilisation en accompagnement des producteurs nécessite cependant que les représentations utilisées dans le modèle soient mises en cohérence avec celles qu'ont les producteurs de leur propre système (McCown et al., 2009).

La recherche a développé de nombreux modèles d'exploitation appliqués aux exploitations laitières, que ce soit pour améliorer la connaissance du fonctionnement des systèmes étudiés ou accompagner les producteurs dans leurs décisions (Passioura, 1996; Thornton and Herrero, 2001). Les modèles pour la connaissance représentent l'objet modélisé pour le comprendre, ou repérer les lacunes de connaissances. Ils décrivent généralement les processus de manière compréhensive par des équations mécanistes (Jame and Cutforth, 1996). L'accumulation de connaissances entraîne une complexification des modèles et une augmentation des données nécessaires pour les renseigner, ce qui en fait des outils peu fonctionnels dans une démarche d'accompagnement. Les modèles d'aide à la décision représentent l'objet étudié pour évaluer l'impact d'un ensemble de décisions sur ses performances, explorer de nouvelles combinaisons et éclairer les décisions à prendre (Kerr et al., 1999; Schils et al., 2007). La qualité de ces modèles est davantage liée à leur capacité à stimuler les réflexions des producteurs sur la base d'une représentation des processus modélisés qui leur soit compréhensible au détriment éventuel de leur précision (de Geus, 1992). Ces modèles peuvent admettre des représentations empiriques des phénomènes, comme des équations statistiques, valables dans une gamme de validité. La complexité de ces modèles dépend des objectifs qui leur sont fixés, et relève d'un compromis entre la précision nécessaire et l'accessibilité des données.

Ces modèles d'exploitation laitière traitent différentes problématiques qui orientent la nature des éléments du système de production et des processus modélisés. De nombreux modèles s'intéressent aux impacts environnementaux de la production laitière (GAMEDE de Vayssières et al., 2009), liés à la production de gaz à effet de serre (FarmGHG de Olesen et al., 2006; DairyWise de Schils et al., 2007), aux flux d'azote (DyNaFLo de Cabrera et al., 2005; Dueri et al., 2007; IFSM de Rotz et al., 2005b; van de Ven and van Keulen, 2007) ou de phosphore (Modin-Edman et al., 2007). D'autres modèles s'intéressent aux performances économiques de l'activité laitière en relation avec différentes options de gestion du pâturage (Chapman et al., 2008; Cros et al., 2001; Romera et al., 2004), des productions fourragères (Ramsden et al., 1999; DAFOSYM de Rotz et al., 1989), ou des pratiques d'élevage (The Moore Park Dairy System Model de Shalloo et al., 2004). Certains modèles recherchent les meilleures stratégies de production possibles dans un contexte régional donné (Bernet et al., 2001; Herrero et al., 2000). Mais la plupart sont des outils de chercheurs, permettant de concevoir et tester de nouvelles configurations à proposer aux producteurs sans que soit fait mention d'un transfert à des conseillers. Néanmoins certaines applications se présentent comme des outils d'aide à la décision, destinés à être utilisés par ou avec des producteurs. Ils peuvent être basés sur des relations statistiques et n'être valables que dans une région donnée (Kerr et al., 1999), ou mécanistes et demander un nombre élevé d'informations (Vayssières et al., 2007). Dans certains cas ils se limitent à certains types de décision tels que l'adéquation entre offre fourragère et demande alimentaire du troupeau (Dobos et al., 2004).

Cet article présente une démarche d'accompagnement de producteurs laitiers basée sur l'utilisation d'un modèle d'exploitation dénommé DairyMoTion (whole Dairy farm simulaTion Model) dont l'objectif est d'aider les producteurs à réfléchir à différentes stratégies d'élevage, avec une perspective de transfert de la démarche à des conseillers agricoles. Nous présentons dans une première partie la structure et le fonctionnement de DairyMoTion. Puis nous décrivons la démarche d'accompagnement proposée, avant de l'illustrer par trois exemples d'utilisation avec des exploitations laitières brésiliennes, étudiées dans le cours de la recherche. La discussion revient sur les intérêts et limites de la démarche suivie et dresse les perspectives d'utilisation avec des conseillers agricoles.

2. Description du modèle

2.1. Objectif

DairyMoTion est un outil de simulation destiné à alimenter les réflexions de l'éleveur laitier dans la construction et la planification de son projet d'élevage. En simulant le fonctionnement d'une exploitation laitière, il permet de tester différentes combinaisons des éléments du

système de production : le troupeau (type génétique des d'animaux, effectifs, dynamique d'agrandissement du troupeau), les productions végétales (type de fourrage produit, surface cultivée, dynamique d'installation des surfaces fourragères, itinéraires techniques suivis), le système d'alimentation (qualité nutritionnelle, quantité pâturée ou distribuée), l'investissement dans des équipements.

Le modèle se base sur une représentation du fonctionnement des exploitations laitières compréhensible par les producteurs et les conseillers, tout en étant adaptée à des exploitations et des contextes disposant d'un nombre limité d'informations techniques et économiques. Les données d'entrée décrivent la structure et le fonctionnement des ateliers lait et productions fourragères de l'exploitation. Les résultats de sortie comprennent une description de la composition du troupeau, des stocks fourragers et des productions laitières à chaque pas de temps, et des indicateurs technico-économiques synthétiques de l'activité laitière tels que des productions de lait moyennes (par vache ou pour le troupeau, par jour, par an, par lactation), le revenu tiré de l'activité, et le coût de production d'un litre de lait.

L'utilisateur du modèle visé à terme est le conseiller agricole dont les rôles dans la démarche d'accompagnement sont (i) de comprendre la situation actuelle du producteur et d'établir un diagnostic conjoint sur sa situation au regard de ses projets, (ii) d'accompagner le producteur dans l'exploration de nouvelles configurations de son système incluant ou non des innovations à introduire dans son système initial, *via* la construction de scénarios alternatifs à tester ; (iii) de simuler les scénarios avec DairyMoTion ; (iv) d'analyser et de discuter les résultats de simulation avec l'éleveur pour progresser dans la réflexion.

2.2. Architecture générale

DairyMoTion reprend la structure d'un premier outil expérimenté au Maroc avec de petites exploitations laitières irriguées dont les troupeaux sont alimentés à l'auge (Le Gal et al., 2009), étendu à des exploitations familiales brésiliennes récemment installées et dont les systèmes alimentaires du troupeau laitier combinent pâturages et cultures fourragères (Bernard et al., 2010). Il calcule un bilan entre la demande alimentaire issue d'une gestion donnée du troupeau laitier et une offre alimentaire issue des choix d'assolement et de conduite des cultures fourragères de l'exploitation. Ce calcul fait appel à trois modules principaux : l'offre alimentaire permise par les productions fourragères, la demande alimentaire émanant du troupeau, et les rations alimentaires appliqués au troupeau à partir de l'offre. Les indicateurs de performances technico-économiques de l'atelier laitier sont calculés dans un quatrième module « Résultats ». Sont inclus les recettes et dépenses liées à la production de fourrages, de lait et de viande à travers la vente des jeunes et des vaches réformées. Un

module Paramètres regroupe les valeurs nutritionnelles des aliments et les prix des différents intrants (Figure 9).

Un scénario correspond à une combinaison de valeurs de variables, décrivant une structure initiale de l'exploitation et des modes de gestion qui font évoluer la structure initiale selon un pas de temps mensuel. Une simulation se compose de 12 pas de temps, allant d'octobre à septembre. Plusieurs simulations peuvent être enchaînées pour explorer l'évolution pluriannuelle du système, les données de sortie de la simulation n devenant des données d'entrée de la simulation $n+1$.

Le modèle n'utilise pas de boucles de rétroaction, ni de règles du type « SI condition ALORS actions ». Les décisions de modification d'une variable suite à l'observation de l'état du système ne sont pas représentées dans le modèle, mais opérées par l'utilisateur dans une démarche itérative : un nouveau scénario est simulé sur la base des résultats des précédents. Par exemple, un scénario 1 soulignant un déséquilibre entre offre et demande alimentaire une partie de l'année sera suivi d'un scénario 2 corrigeant ce problème, par une modification des données d'entrée, selon différentes voies possibles : modification de l'assolement fourrager, modification de la conduite et par conséquent des rendements des cultures fourragères, réduction de la demande du troupeau. Cette procédure permet à l'utilisateur et au producteur de suivre pas à pas les effets d'un scénario donné sur les variables de sortie et de rester maître des modifications à apporter à chaque scénario pour atteindre un objectif donné.

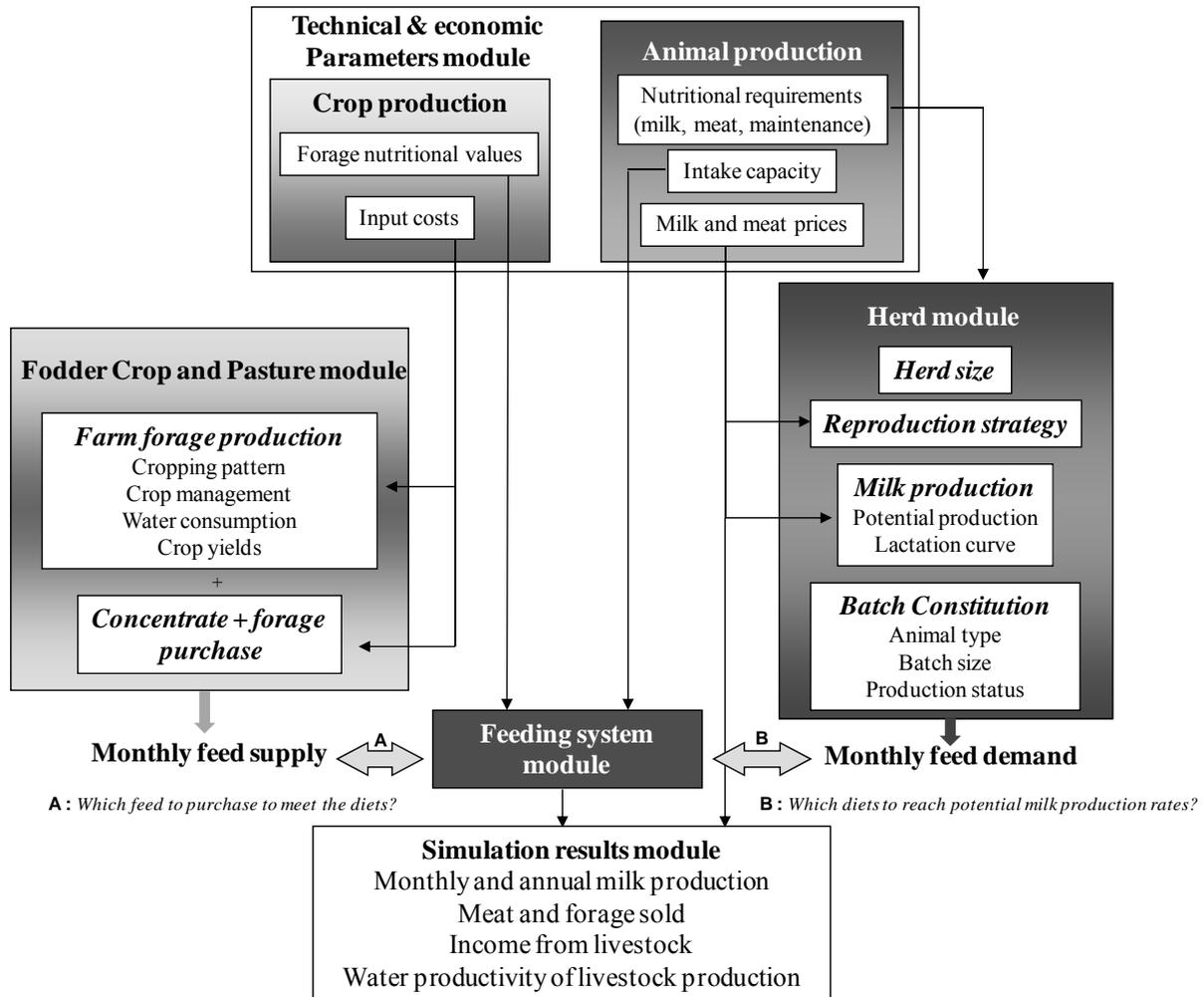


Figure 9 : Représentation conceptuelle de l'outil de simulation dédié à l'évaluation des pratiques de gestion du troupeau dans les exploitations laitières, adapté de Le Gal et al., 2009

2.3. Composantes et boucle de simulation

2.3.1. Module Troupeau

Le module Troupeau simule l'évolution du troupeau (taille et état), calcule ses besoins en énergie et protéines et calcule la production de lait attendue. Il est composé de trois catégories d'animaux : les vaches (Cow), les génisses (Heifer, correspondant à toutes les femelles de la naissance au premier vêlage) et les veaux (Calf, correspondant à tous les mâles de la naissance à la vente). Chaque animal est caractérisé par un type génétique à choisir parmi trois types possibles pour une meilleure prise en compte de l'hétérogénéité du troupeau. Les variables citées dans cette section sont renseignées par type génétique.

Les vaches sont regroupées en lots correspondant chacun à un mois de vêlage. Les paramètres de lactation (*LactationLength*, *DryingLength*) permettent d'établir un cycle physiologique (Figure 10) où chaque événement est positionné. Chaque mois, le module repositionne les

groupes de vèlage dans ce cycle physiologique. Les génisses et les veaux sont respectivement regroupés par âge, de 1 à 36 mois, mis à jour à chaque pas de temps. *FirstCalvingAge* détermine l'âge auquel les génisses entrent en production et passent de la catégorie Heifer à la catégorie Cow; *SaleAge* détermine l'âge auquel les veaux sont vendus et quittent la catégorie Calf. L'avènement d'un vèlage, représenté par *LactationStage* = 0 ou *Age* = *FirstCalvingAge*, se traduit par l'ajout d'un individu dans la catégorie Calf ou dans la catégorie Heifer dans une proportion de 50% pour chaque catégorie.

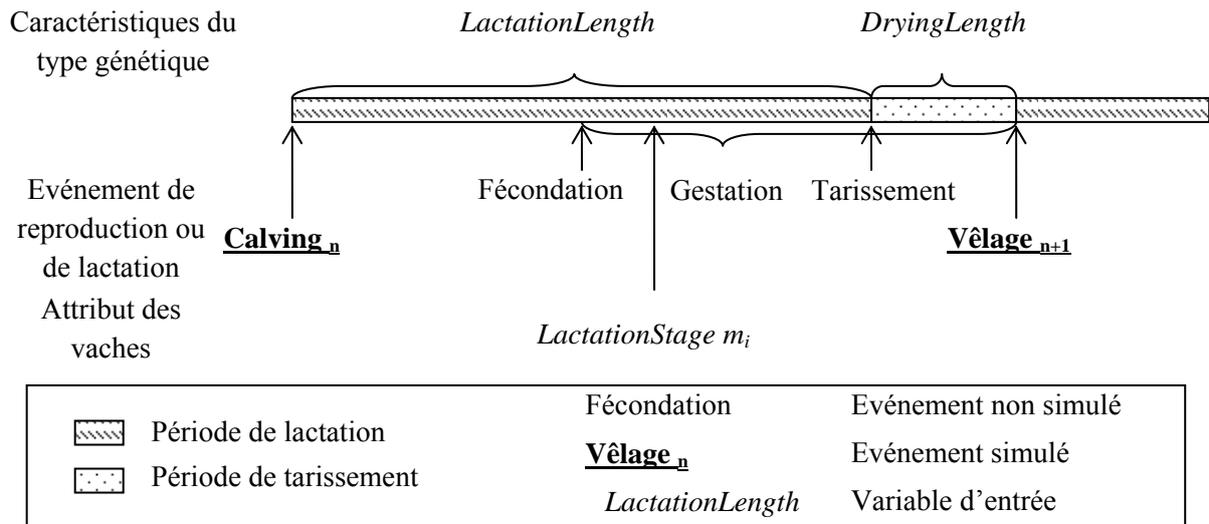


Figure 10 : Cycle physiologique des vaches laitières dans DairyMoTion

La fonction Besoins nutritionnels calcule trois variables : l'ingestion de matière sèche (DMI pour dry matter intake) de chaque catégorie, et les besoins d'entretien en protéines et les besoins en énergie des vaches de chaque groupe de vèlage. L'ingestion de matière sèche des vaches est estimée comme 2,5% du poids vif adulte. Les DMI des génisses et des veaux de 0 à 4 mois sont fixés selon le Tableau 6 en considérant qu'un jeune consomme 80 kg de matière sèche en 4 mois (INRA, 1988). Les besoins des génisses et des veaux de 5 à 36 mois sont estimés comme 2% du poids vif. Le poids des jeunes est calculé en fonction du gain moyen quotidien (ADG pour average daily gain) visé par le producteur en fonction des caractéristiques génétiques de ses animaux et de la gestion (Equation 1).

$$ADG = (SaleBodyWeight - BirthBodyWeight) \div (SaleAge \times 365 \div 12) \quad (Eq1)$$

Où :

ADG: Gain moyen quotidien (kg/jour)

SaleBodyWeight: Poids vif des veaux au moment de la vente (kg)

BirthBodyWeight: Poids vif des veaux à la naissance (kg)

SaleAge: Age des veaux au moment de la vente (mois)

Tableau 6 : Ingestion de matière sèche (DMI) mensuelle des génisses et des veaux de 0 à 4 mois

Age (mois)	DMI (kg)
1	5
2	15
3	25
4	35

Les besoins d'entretien en protéines et énergie des vaches sont estimés à partir du poids vif de l'animal (Equation 2 et Equation 3; NRC, 1996)

$$E_maintenance = 0.079 \times AdultBodyWeight^{0.75} \quad (\text{Eq2})$$

$$P_maintenance = 3.8 \times AdultBodyWeight^{0.75} \quad (\text{Eq3})$$

Où :

E_maintenance: besoins en énergie pour l'entretien des vaches (Mcal/jour)

P_maintenance: besoins en protéines pour l'entretien des vaches (g/jour)

AdultBodyWeight: poids vif d'une vache moyenne (kg)

La production annuelle attendue dépend de la production annuelle attendue par vache moyenne et de la dynamique de vêlage de chaque groupe de vêlage au cours de l'année. La production annuelle attendue par vache moyenne est la production visée par le producteur pour définir l'alimentation à fournir pour atteindre l'objectif. Cette production attendue est estimée à partir de cinq variables de lactation, i.e. *LactationYield*, *InitialProduction*, *PeakProduction*, *PeakDate* et *LactationLength*, qui permettent de construire une courbe de lactation simplifiée (Figure 11). Ces variables étant renseignées par type génétique, on compte jusqu'à trois courbes de lactation. La courbe de lactation est composée de deux segments ; le premier segment a pour extrémités la production initiale (*Month₁*, *InitialProduction*) et la production au pic (*PeakDate*, *PeakProduction*) ; le second segment a pour extrémités la production au pic et la production en fin de lactation (*LactationLength*, *FinalProduction*). *FinalProduction* est déterminé par un système d'équations de telle sorte que la production par lactation corresponde à *LactationYield* (Figure 11). Les courbes de lactation permettent

d'obtenir une matrice des productions de lait attendues pour une vache moyenne de chaque groupe de vêlage. La production annuelle attendue est obtenue par multiplication de la matrice de productions de lait par la matrice de structure et d'état du troupeau. Par exemple, si pour un mois donné le troupeau se compose de deux vaches au premier mois de lactation et d'une vache au 3ème mois de lactation, la production mensuelle attendue sera égale à soit 65 litres. Cette production attendue sera ensuite utilisée comme benchmark dans les scénarios pour évaluer leurs capacités à l'atteindre en fonction des choix de rations réalisés à l'échelle de l'exploitation et des différents types d'animaux.

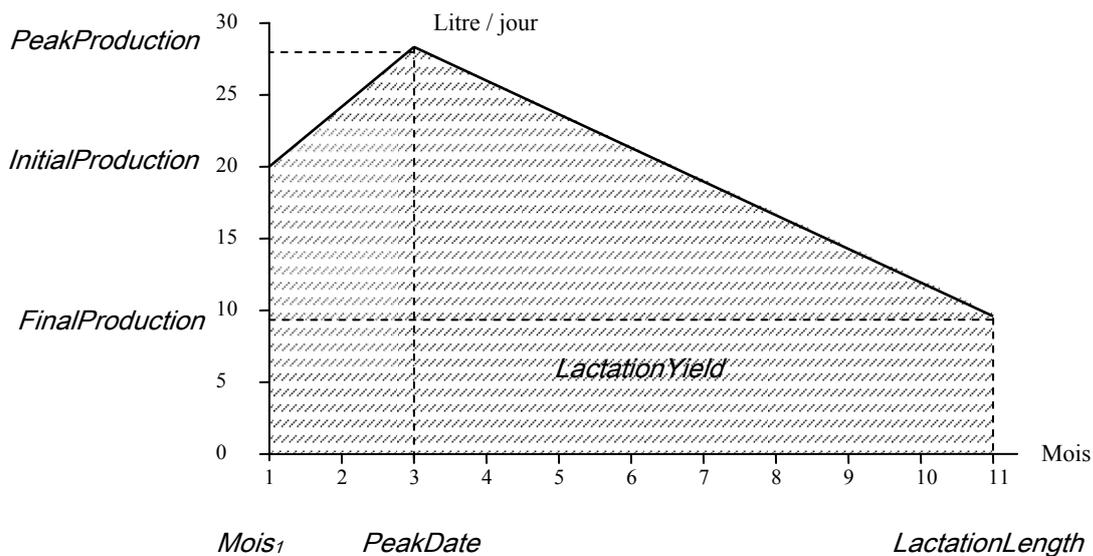


Figure 11 : Exemple de courbe de lactation tracée à partir des variables de lactation (en italique), correspondent à une production de 6000 litres par lactation

2.3.2. Module Pâturage et Fourrage

Le module Pâturage et Fourrage estime la production fourragère mensuelle et les dépenses annuelles associées à chaque culture. Dix fourrages peuvent être produits, répartis en un fourrage pâturé, ou pâturage, et neuf fourrages récoltés/coupsés et distribués. Chaque fourrage correspond à un aliment produit et peut être décrit par trois blocs de culture. Un bloc de culture correspond à une ou plusieurs parcelles caractérisées par un type de sol, un type d'année climatique, un itinéraire technique appliqué, un rendement annuel associé $Productivity$ et des pourcentages mensuels de la courbe de croissance $MonthlyPercentage_i$. Les blocs de fourrage pâturés incluent également un coefficient de refus de pâturage.

La production mensuelle de chaque bloc est estimée en multipliant la surface allouée $Area$ par $Productivity$ et $MonthlyPercentage_i$. $MonthlyPercentage_i$ prend la valeur 100 pour les cultures

à récolte unique, ou une valeur issue de la littérature ou renseignée à dire d'expert dans le cas du pâturage notamment (Figure 12).

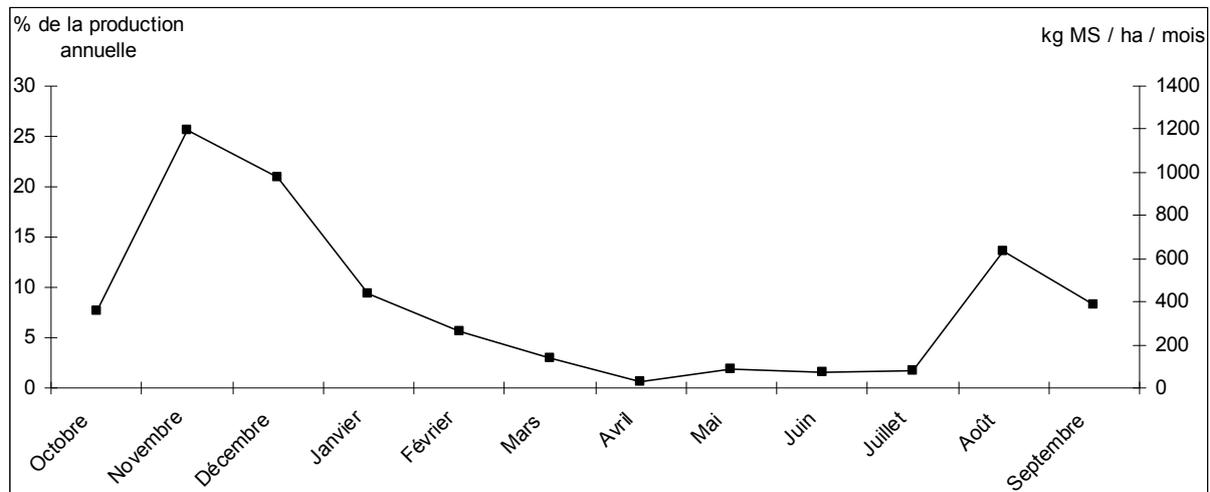


Figure 12 : Exemple de courbe de croissance du pâturage, tracée à partir des variables *MonthlyPercentage*

La description de l'itinéraire technique permet de calculer les dépenses liées à la culture en matière de location de services et d'achat d'intrants. La variable *YearsOfUse* permet de calculer un coût annuel dans le cas des cultures pluriannuelles. Les productions mensuelles des différents blocs d'un fourrage donné sont ajoutées et constituent le même stock mensuel d'aliment produit par ce fourrage. Le solde du stock est calculé en sommant le reliquat du mois précédent à l'apport du mois diminué des consommations liées aux rations mensuelles saisies. Cette représentation sous forme de stock permet de prendre en compte la présence permanente de l'herbe dans les pâturages, ou le prélèvement pluri-mensuel dans les silos d'ensilage ou de foin, ou les cultures sur pied récoltées sur plusieurs mois telles que la canne à sucre.

2.3.3. Module Alimentation

Les pratiques d'alimentation sont saisies dans le module Alimentation par sous-catégorie d'animal, définie par le stade de lactation dans la catégorie Cow et l'âge dans les catégories Heifer et Calf (vaches en lactation; vaches tarées; femelles de 1 à 36 mois ; mâles de 1 à 36 mois). Pour chaque mois de l'année et chaque sous-catégorie, l'utilisateur déclare les quantités distribuées de chaque fourrage et concentré. La distribution de concentrés chez les vaches se fait en fonction du stade de lactation, et non en fonction des mois calendaires. L'alimentation lactée des jeunes est incluse dans ce module via la déclaration d'une quantité ingérée par jour selon l'âge, le sexe et le type génétique du veau. Le module calcule ensuite les apports nutritionnels aux animaux, la production de lait et de viande correspondantes et les niveaux des stocks par aliment.

Le calcul de l'ingestion d'aliments fonctionne en trois étapes pour chaque catégorie, en traitant prioritairement les vaches, les génisses puis les veaux : (i) la distribution des fourrages est réalisée selon les quantités déclarées et déduite des stocks correspondants. En cas de déficit, un achat est effectué à l'extérieur de l'exploitation, une dépense est générée et l'affouragement est assuré ; (ii) la différence entre les besoins d'ingestion de matière sèche et la matière sèche fournie par les fourrages distribués est considérée pâturée et déduite du stock pâturage. En cas de déficit de pâturage, le disponible est réparti entre les animaux de la catégorie ; (iii) les concentrés sont achetés à l'extérieur de l'exploitation puis distribués et une dépense est générée.

L'énergie et les protéines fournis par la ration finale sont partitionnées en deux compartiments : l'entretien et la lactation. L'énergie et les protéines allouées à la lactation sont converties en litres de lait, selon l'énergie et les protéines requises pour un litre de lait (Equation 4 et Equation 5; NRC, 2001). Le minimum des deux est considéré comme la production permise par la ration. Pour chaque groupe de vèlage, la production simulée est égale au minimum entre la production-objectif et la production permise par la ration, traduisant quel est le facteur limitant entre l'apport de nutriments et la production attendue des vaches.

$$MP_{Lact} = \left(\frac{M_{prot}}{0.67} \right) \times 1000 \quad (\text{Eq4})$$

$$NE_L = 0.360 + 0.0969 \times M_{fat} \quad (\text{Eq5})$$

Où :

MP_{Lact} : besoins en protéines pour un litre de lait (g)

M_{prot} : taux protéique du lait (%)

NE_L : Besoins en énergie pour un litre de lait (Mcal)

M_{fat} : Taux butyreux du lait (%)

2.3.4. Module Résultats de simulation

Le module Résultats de simulation calcule un bilan de l'activité, incluant la production de lait, les stocks fourragers et un bilan économique simple. Les indicateurs mensuels de production laitière sont donnés à l'échelle du troupeau comme des sommes des productions par groupe de

vêlage : production laitière objectif, production permise par la ration, production simulée. La production laitière vendue est égale à la production simulée du troupeau moins les distributions aux jeunes non sevrés, et un prélèvement d'autoconsommation familiale. Des indicateurs annuels synthétiques sont calculés : production moyenne par vache et par an, production moyenne par vache et par jour et production quotidienne moyenne. Le revenu est calculé chaque mois comme la somme des revenus moins les dépenses. Les recettes sont composées des ventes de lait et de veaux. Les dépenses sont composées des dépenses liées à la production des ressources fourragères, à l'achat d'aliments (fourrages et concentrés), les dépenses vétérinaires définies par un coût mensuel par vache, et une catégorie de dépenses autres. Cette catégorie, à entrée mensuelle, permet de prendre en compte diverses dépenses non considérées par ailleurs (consommation électrique, cotisation associative, créances de crédit, etc.) et de tester les effets d'une dépense ponctuelle. Des indicateurs synthétiques sont calculés : le revenu annuel moyen, le revenu dégagé par vache par an, et le coût de production d'un litre de lait réparti entre les postes Production de fourrage, Achat d'aliments, Dépenses vétérinaires et Autres dépenses.

2.4. Structure et collecte des données d'entrée

Le nombre de variables d'entrée se limite à 28 (Tableau 7). La structure des données est présentée en Figure 13 sous un format UML (Unified Modeling Language) qui permet de visualiser les relations entre classes. Par exemple Feeding Practice se compose de Food et est l'élément à l'interface de la composante Animal, dont émane la demande, et de la composante CroppingBlock, qui fournit l'offre fourragère.

Le modèle a été implémenté sur Microsoft Excel® (Version 2003). Chaque fichier correspond à une simulation, i.e. un scénario simulé sur une année, et contient 6 feuilles de données, 1 feuille de paramètres, 7 feuilles de calcul et 1 feuille de résultats. Pour faciliter la saisie des données, les cellules à remplir par l'utilisateur ont été colorées en vert.

Toutes les variables sont modifiables d'une simulation à l'autre, mais on distingue les données statiques, qui ne sont pas modifiées par le modèle lors des calculs, des données dynamiques, qui sont renseignées par l'utilisateur pour le premier mois de simulation et mises à jour chaque mois par le modèle (Tableau 7). Une macro permet de lancer la simulation de l'année suivante, créant un autre fichier avec les mêmes données statiques, et les données dynamiques correspondant au premier mois de l'année suivante.

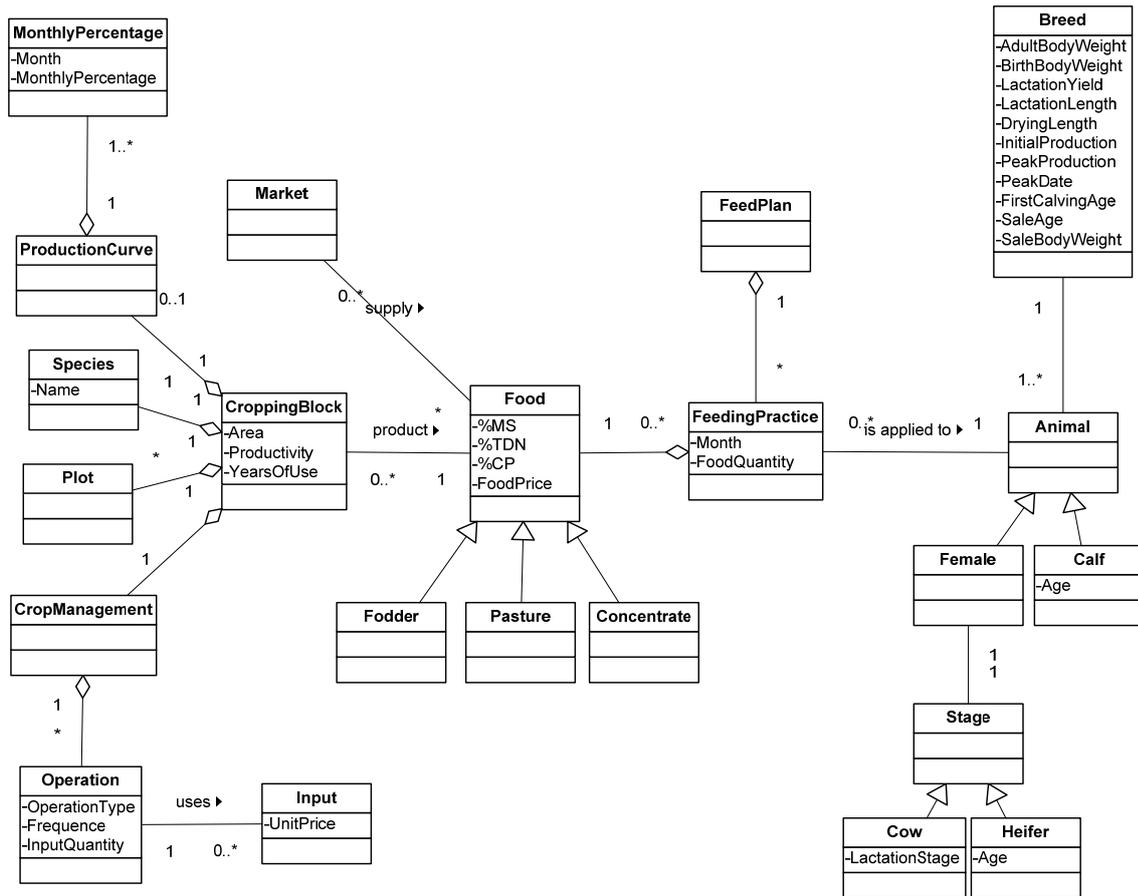


Figure 13 : Diagramme de classe des données d'entrée

Tableau 7 : Liste des données d'entrée

Nom de variable	Objet	Module	Type	Accès
<i>LactationStage</i>	Cow	Herd	Dynamique	Eleveur
<i>Age</i>	Heifer; Calf	Herd	Dynamique	Eleveur
<i>AdultBodyWeight</i>	Breed	Herd	Statique	Eleveur
<i>BirthBodyWeight</i>	Breed	Herd	Statique	Eleveur
<i>LactationYield</i>	Breed	Herd	Statique	Eleveur
<i>LactationLength</i>	Breed	Herd	Statique	Eleveur
<i>DryingLength</i>	Breed	Herd	Statique	Eleveur
<i>InitialProduction</i>	Breed	Herd	Statique	Eleveur
<i>PeakProduction</i>	Breed	Herd	Statique	Eleveur

<i>PeakDate</i>	Breed	Herd	Statique	Eleveur
<i>FirstCalvingAge</i>	Breed	Herd	Statique	Eleveur
<i>SaleAge</i>	Breed	Herd	Statique	Eleveur
<i>SaleBodyWeight</i>	Breed	Herd	Statique	Eleveur
<i>Area</i>	CroppingBlock	Crop and Pasture	Statique	Eleveur
<i>Productivity</i>	CroppingBlock	Crop and Pasture	Statique	Littérature, expert ou calibration
<i>YearsOfUse</i>	CroppingBlock	Crop and Pasture	Statique	Eleveur
<i>Month</i>	MonthlyPercentage	Crop and Pasture	Statique	Défaut
<i>MonthlyPercentage</i>	MonthlyPercentage	Crop and Pasture	Statique	Littérature, expert ou calibration
<i>OperationType</i>	Operation	Crop and Pasture	Statique	Eleveur
<i>Frequence</i>	Operation	Crop and Pasture	Statique	Eleveur
<i>InputQuantity</i>	Operation	Crop and Pasture	Statique	Eleveur
<i>UnitPrice</i>	Input	Crop and Pasture	Statique	Eleveur
<i>%MS</i>	Food	Parameter	Statique	Littérature, expert ou calibration
<i>%TDN</i>	Food	Parameter	Statique	Littérature, expert ou calibration
<i>%CP</i>	Food	Parameter	Statique	Littérature, expert ou calibration
<i>FoodPrice</i>	Food	Parameter	Statique	Eleveur
<i>FoodQuantity</i>	FeedingRule	FeedingSystem	Statique	Eleveur
<i>Month</i>	FeedingRule	FeedingSystem	Statique	Défaut

3. Utilisation du modèle

3.1. Contexte

L'étude a été menée dans le municiple d'Unaí-MG (16,35° S et 46,90° W), dans l'état brésilien du Minas Gerais. Situé au cœur des *Cerrados*, biome de type savane, ce municiple connaît un climat tropical, caractérisé par deux saisons : une saison sèche de 5 à 6 mois (avril à septembre) et une saison des pluies qui concentre les 1200 à 1400 mm de précipitations annuelles (octobre à mars). La température annuelle moyenne est de 24,4 °C.

Depuis 25 ans, le processus national de réforme agraire a conduit, par le démantèlement de grandes exploitations latifundiaires, à la formation de nouvelles communautés dans le municiple où plusieurs dizaines de familles se sont installés comme petits producteurs. Chaque bénéficiaire a reçu un lot de 20 à 30 ha. Certains se sont spécialisés dans la production laitière, leur assurant une trésorerie régulière et relativement assurée. Ils approvisionnent une grande coopérative locale, qui leur facilite l'accès au crédit et aux intrants par un prélèvement des dépenses sur le paiement du lait. Au démarrage de l'activité, les ateliers laitiers se constituent généralement à partir de quelques vaches laitières par une entrée en production des génisses nées sur l'exploitation et une mise en place progressive des productions fourragères. Les types génétiques sont variés, allant de races rustiques à des races laitières améliorées, en passant par divers degrés de croisements. L'alimentation est basée sur le pâturage de graminées tropicales en saison des pluies et l'affouragement en saison sèche par des fourrages sur pied, tels la canne à sucre ou le Napier grass ou par des fourrages conservés, tels les ensilages de maïs, de sorgho ou de Napier grass. Le troupeau peut être complémenté une partie ou la totalité de l'année par des concentrés achetés sur le marché ou des aliments autoproduits (maïs). Les producteurs les plus équipés possèdent un tank à lait, un système de traite mécanique, un silo pour la conservation des concentrés, et une bonbonne pour la conservation des semences bovines. Mais dans l'ensemble, le niveau d'équipement reste faible, et se compose simplement d'un enclos ou d'une salle pour la traite. Les exploitations dont la production laitière au démarrage est trop faible pour acquérir un tank individuel s'organisent pour acquérir un tank collectivement.

L'accès au conseil personnalisé prend différentes formes. Une permanence est assurée au siège de la coopérative, où les producteurs peuvent être conseillés gratuitement. Les visites d'un conseiller (technicien agricole, vétérinaire) sur l'exploitation sont payantes, ou cofinancées par la coopérative *via* des programmes d'accompagnement qui ne concernent aujourd'hui qu'un très petit nombre de producteurs. Les producteurs de la réforme agraire représentent un public intéressant pour concevoir et tester une démarche d'accompagnement. En effet les décisions stratégiques et tactiques, qui se posent dans de nombreuses

exploitations, sont ici d'autant plus questionnées que l'activité est en phase de démarrage, et que ces nouveaux producteurs, pour la plupart anciens salariés agricoles, n'ont généralement pas d'expérience comme chef d'exploitation.

La démarche d'accompagnement utilisant DairyMoTion a été expérimentée avec trois exploitations dont la diversité débouche sur des questionnements différents (Tableau 8). Ces producteurs sont installés depuis 5 ou 6 ans, la taille des troupeaux varie de 14 à 20 laitières et les productions de lait de 75 à 230 litres par jour. Les types génétiques et les performances zootechniques sont hétérogènes, avec des productivités des laitières de 1500 à 6000 l/lactation. Les charges au pâturage varient de 2.2 à 10.8 AU/ha (one Animal Unit corresponds to a 450 kg cow) et correspondent à des modalités de gestion et des productivités différentes des pâturages. Les trois producteurs utilisent du concentré mais dans des proportions différentes (1 kg pour 3 à 4 litres de lait produits dans le cas des laitières). Le nombre et la technique de traite diffèrent entre les exploitations, conduisant à des besoins en main d'œuvre différents. Nous présentons ici trois exemples d'utilisation du modèle, centrés sur différents aspects du système de production.

Tableau 8 : Caractéristiques des trois exploitations partenaires de la démarche d'accompagnement

	Cas 1	Cas 2	Cas 3
Ancienneté de l'installation (année)	6	5	6
Troupeau			
Vaches	14	20	15
Génisses	8	12	12
Veaux	16	12	?
Production par lactation (l/vache/lactation)	6000	5500 / 4000 / 2500	5000 / 3000 / 1500
Durée de lactation (mois)	11	10	10
Durée de tarissement (mois)	3	2	2
Traite	Bi-traite mécanique	Monotraite manuelle	Monotraite mécanique
Chargement instantané du groupe des vaches en lactation (AU ² /ha pâturage)	5.5	10.8	2.2
Canne à sucre (ha)	2	2	2.5
Ratio Concentré : Lait	1 : 4	1 : 3	1 : 3
Production laitière (l/jour)	230	120	75
Marge brute (BRL ³ /mois)	1583 ⁴	694 ⁴	262 ⁴

¹selon le type génétique

²une unité animale (AU) correspond à une vache de 450 kg

³1 BRL= 0.5641 USD entre le 06/10/2010 et le 18/09/2010

⁴donnée simulée et validée par le producteur

3.2. La démarche d'accompagnement

La démarche consiste en un minimum de trois séances de dialogue avec le producteur, sur la base de scénarios dont les caractéristiques et les résultats simulés sont discutés (Figure 14). La première séance débute par une prise de connaissance de l'exploitation et du producteur, sur

son parcours, ses objectifs, ses projets et sur les difficultés qu'il rencontre. Un scénario de base représentant la situation actuelle est alors simulé et discuté en comparant les estimations simulées de production laitière, de ressources fourragères et de revenu mensuel avec les évaluations du producteur ou les données disponibles, telles que les productions de lait livrées à la coopérative. Ce scénario de base permet au producteur de valider la représentation que donne le modèle de son exploitation et nourrit le diagnostic porté sur sa situation par rapport à ses projets.

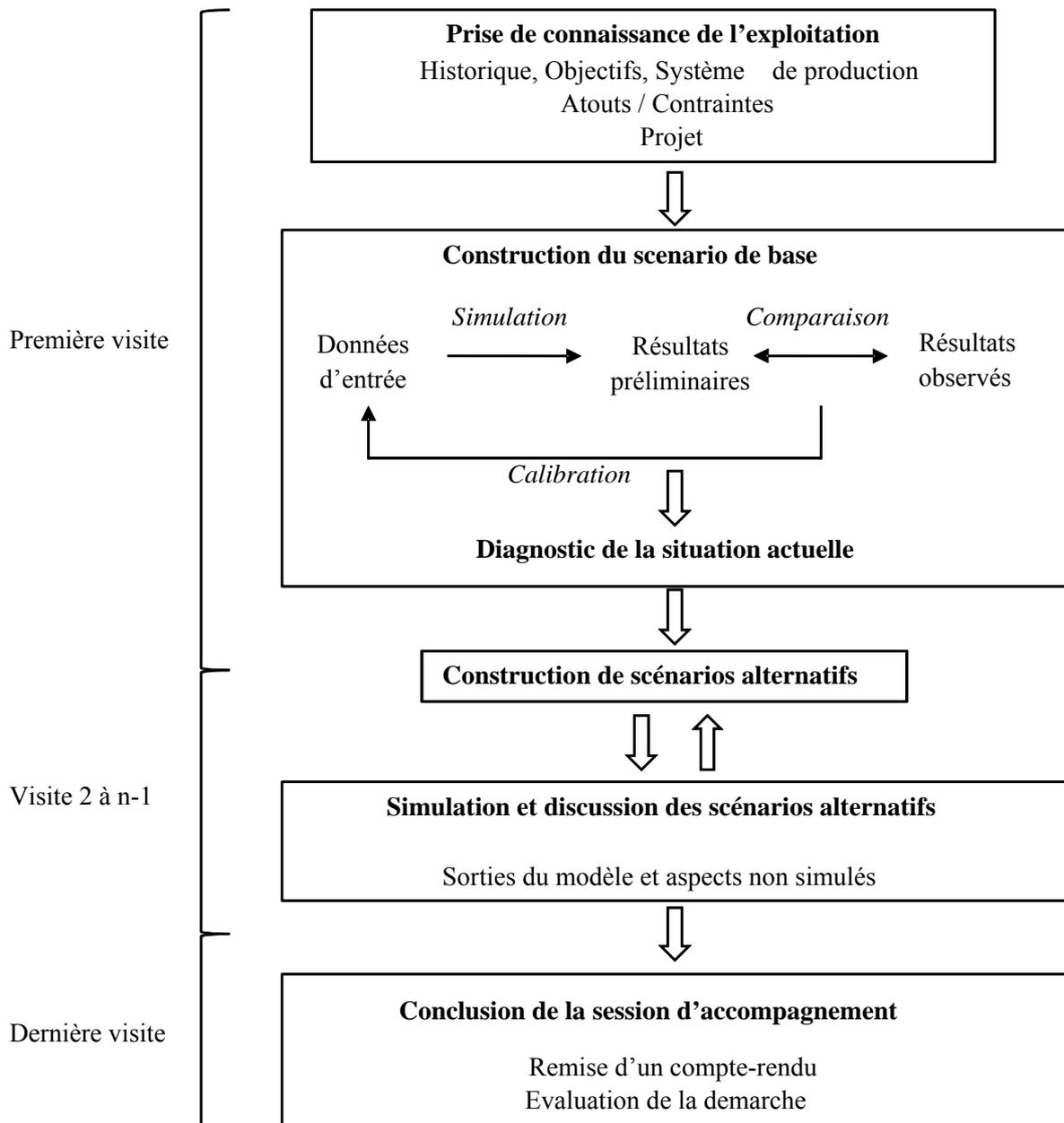


Figure 14 : Représentation schématique de la démarche d'accompagnement testée

Certaines variables sont difficiles d'accès, comme la productivité des pâturages, ou les qualités nutritionnelles des aliments, qui ont une grande variabilité et sont rarement mesurées dans les exploitations. Elles peuvent être renseignées à dire d'expert (producteur lui-même, techniciens et chercheurs locaux), d'après la littérature, ou calibrées lors de la construction du scénario de base. Les valeurs de ces variables sont ajustées par itérations en comparant les résultats des simulations avec les données connues de l'éleveur, telles que les productions de lait livrées, les stocks fourragers ou le revenu. La Figure 15 présente les courbes de productions laitières observées et simulées chez les trois éleveurs de l'expérimentation, les données observées ne couvrant que la période d'octobre au mois de visite.

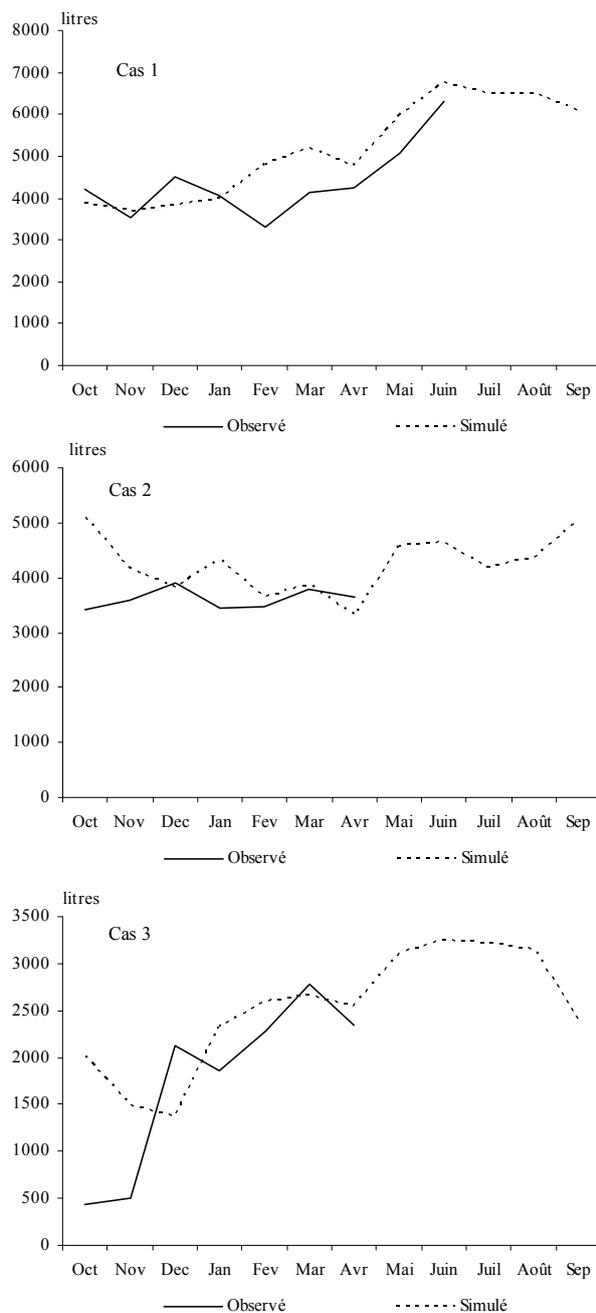


Figure 15 : Productions laitières observées et simulées des trios cas d'étude

Les profils des courbes de productions observées et simulées sont globalement identiques. Les écarts entre production laitière observée et production laitière simulée sont dus d'une part à l'irrégularité des durées de lactation et de tarissement entre individus, tandis que DairyMoTion utilise une valeur moyenne par type génétique, d'autre part, à l'influence sur l'état des animaux de facteurs non pris en compte dans le modèle, tels que la température, les distances parcourues ou les maladies. Ces écarts à la réalité sont admissibles dès lors que la démarche vise essentiellement à aider les producteurs à réfléchir sur la base de tendances comparées entre différents scénarios autour d'un même projet plutôt qu'à évaluer précisément les résultats technico-économiques à attendre d'un scénario donné.

Un ou plusieurs scénarios alternatifs sont ensuite construits avec le producteur pour explorer des voies possibles répondant à ses questionnements et aux problèmes soulevés lors du diagnostic initial ou de l'analyse du projet. Les scénarios formulés sont simulés hors séance. Les valeurs des variables calibrées sont conservées, à moins que ces variables ne fassent l'objet d'une innovation dans le scénario en question. La discussion des résultats de simulation fait l'objet de la deuxième séance. Les aspects non pris en compte par DairyMoTion, tel le travail, peuvent y être discutés, de manière qualitative. D'autres scénarios peuvent éventuellement émerger, qui seront simulés et discutés lors de la séance suivante, selon un processus itératif se poursuivant jusqu'à épuisement des questions. La dernière séance permet de conclure la session de conseil et de remettre à l'éleveur un document écrit récapitulant le processus de réflexion suivi et les résultats chiffrés des scénarios sous la forme de tableaux et graphiques.

3.3. Expérimentation de la démarche auprès de trois exploitations

3.3.1. *Redimensionnement de l'atelier lait (cas 1)*

Le cas 1 illustre l'utilisation du modèle pour reconfigurer l'exploitation sur la base d'un objectif lié à l'effectif du troupeau de laitières. L'objectif de cet éleveur est de maximiser la production de lait compte tenu de ses ressources en terre, en augmentant à la fois la production par vache et le nombre de vaches. Le troupeau visé est de 40 vaches, mais un troupeau plus grand pourra être envisagé si la production de fourrage sur l'exploitation le permet. Les points forts sont la production d'aliment fourni par le pâturage actuellement excédentaire, et le haut rendement des génisses entrant en production. Les principales difficultés de l'éleveur sont la pénibilité et la durée du travail, allégées progressivement par une mécanisation croissante, et la lourdeur des investissements à rembourser. Deux scénarios ont été établis. Le premier scénario explore les transformations à mettre en place pour conduire le troupeau de 40 vaches visé (scénario 40) (Tableau 9). Le second scénario vise à

estimer la taille maximale du troupeau que l'éleveur peut alimenter sur l'exploitation (scénario LIMIT).

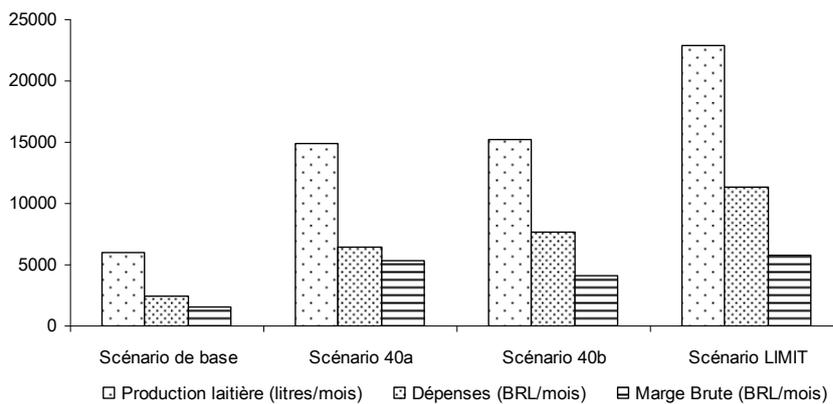
Le scénario 40 a été testé en conservant les pratiques d'alimentation et de gestion actuelles du troupeau. Les surfaces et rendements nécessaires des différentes ressources fourragères ont été calculés, *via* trois simulations, en fonction de trois valeurs de productivités de la canne, réalistes selon un conseiller agricole connaissant l'exploitation (Tableau 10). Les valeurs de rendement ont été discutées avec l'éleveur, qui a privilégié la valeur de 80 t de matière verte/ha/an pour envisager la situation la moins favorable. La production de lait et le bilan économique de l'activité sont présentés en Figure 16 pour une productivité de la canne à sucre de 80 t/ha/an.

Tableau 9 : Combinaison des données d'entrée saisies dans les scénarios simulés pour le cas 1

	Unité	Scénario de base	Scénario 40a	Scénario 40b	Scénario LIMIT
Vaches laitières	Tête	14	40	40	60
Effectif du troupeau	Tête	38	112	100	130
Surface de pâturage	ha	26	22	22	19.5
Productivité du pâturage	t/ha/an	15	45	45	75
Coût du pâturage	BRL/ha/an	25	25	333	432
Surface de canne à sucre	ha	2	6	6	8.5
Productivité de la canne à sucre	t/ha/an	100	80	80	80
Main d'œuvre	BRL/an			9000	18000
Mensualités pour l'étable	BRL/an			2667	2667
Mensualités pour le tank à lait	BRL/an			4400	4400

Tableau 10 : Surfaces en canne à sucre requises et rendements et surfaces en pâturage requis pour le scénario 40, en fonction du rendement de la canne à sucre

Rendement Canne à sucre (t/ha/an)	80	100	120
Surface requise en canne à sucre (ha)	6	4.5	4
Surface disponible pour le pâturage (ha)	22	23.5	24
Rendement requis au pâturage (t/ha/an)	45	42	41

**Figure 16 : Production laitière, coûts et marge brute mensuels pour le cas 1**

La surface requise en canne à sucre a surpris l'éleveur qui pensait produire suffisamment de canne à sucre pour un troupeau équivalent à 40 VL et leurs suites. Les transformations à mettre en place, selon les résultats du modèle ou non prises en compte par le modèle, ont été discutées avec l'éleveur. Pour atteindre les productivités des pâturages annoncées, l'éleveur envisage d'augmenter le chargement instantané en sous-divisant les plus grandes parcelles, et de fertiliser les pâturages annuellement. Il estime que son épouse et lui ne pourront pas assumer la charge de travail seuls. Pour réduire le temps de travail, l'acquisition de nouveaux équipements a été la première solution discutée. L'éleveur 1 envisage de doubler l'équipement de traite mécanique et de réaménager la salle de traite. L'emploi de main d'œuvre est également envisagé au delà de 35 vaches. La production d'un fourrage demandant moins de travail (ensilage) a été discutée. Mais en cas d'emploi de main d'œuvre, le choix de l'ensilage serait davantage motivé par sa plus grande richesse en protéines, qui permettrait de diminuer les achats de concentré. L'acquisition d'un tank de plus grande capacité est également à prévoir.

Les coûts, mode de financement et priorités des différents investissements ont été estimés par l'éleveur, afin de compléter le scénario 40a, en un scénario 40b. Les autres aspects de gestion

du troupeau ont été reconduits. Seul l'élevage des veaux mâles a été remis en cause par l'éleveur, qui pense éventuellement s'en séparer après le vêlage. Le passage du scénario 40b au scénario LIMIT implique une fertilisation des pâturages plus importante pour atteindre les rendements requis, et une charge de travail plus importante que l'éleveur envisage de résoudre par l'emploi d'un salarié permanent supplémentaire. L'utilisation totale de l'espace disponible aux chargements maximaux a été discutée avec l'éleveur. Le recours à la location de pâturages est la solution envisagée en cas de réforme des pâturages de l'exploitation. L'objectif de cet éleveur est clair (atteindre la production de lait maximale) mais n'a pas empêché un manque récurrent d'anticipation des ressources fourragères de saison sèche qui l'a plusieurs fois conduit à vendre des animaux pour réduire la demande alimentaire du troupeau. L'exercice l'a conforté dans son objectif initial, tout en fournissant des ordres de grandeur en termes de relation offre-demande fourragère et bilan économique qui l'ont fortement intéressé.

3.3.2. Modification du système fourrager (cas 2)

Le cas 2 illustre l'utilisation du modèle pour comparer des options fourragères. Le projet de l'éleveur 2 est de maintenir un élevage mixte lait-viande, moins contraignant, en cas d'absence, qu'un élevage très spécialisé dans le lait. L'objectif est d'atteindre une production de 200 litres par jour avec une vingtaine de vaches, en conservant des pratiques peu coûteuses, et du bétail à aptitude mixte. La diminution des coûts de production a été envisagée à travers la comparaison de deux options fourragères : canne à sucre + aliments concentrés ou ensilage de maïs seul. Les itinéraires techniques et les rendements associés des différentes productions ont été discutés avec l'éleveur (Tableau 11), et les bilans économiques comparés (Figure 17).

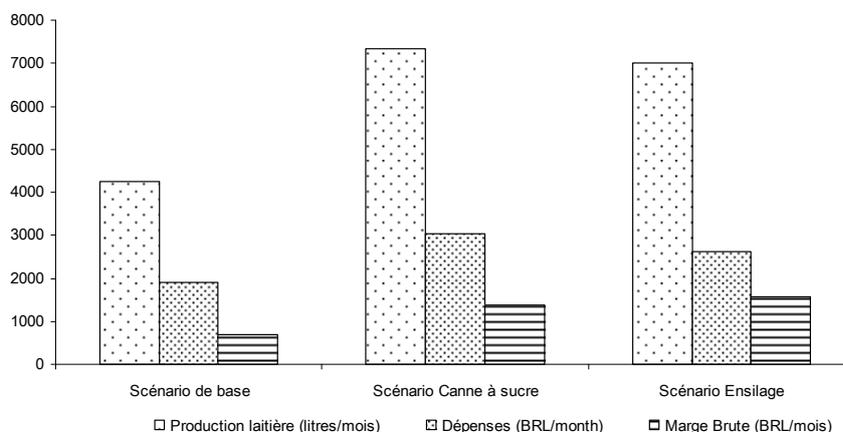


Figure 17 : Production laitière, coûts et marge brute mensuels pour le cas 2

Tableau 11 : Caractéristiques des cultures fourragères et de l'usage de concentrés

	Unité	Scénario de base	Scénario Canne à sucre	Scénario Ensilage
Canne à sucre				
Surface	ha	1	1.5	1
Engrais*	kg/ha	250	250	250
Productivité	t/ha/an	80	80	80
Urée mélangée au fourrage	%	0.26	0.26	0.26
Dépenses	BRL/an	474	711	474
Ensilage de maïs				
Surface	ha			3.5
Semences	kg/ha/an			20
Engrais	kg/ha/an			300
Productivité	t/ha/an			30
Dépenses	BRL/an			4533
Achats de concentrés	BRL/an	6922	8928	0

*Première année seulement

Les résultats obtenus infirment l'idée initiale du producteur sur le coût plus avantageux de l'option canne à sucre à production de lait équivalente. En revanche, la discussion a fait émerger des questions de risque associé à la culture du maïs, risque dû à la fois aux aléas climatiques et la disponibilité des ensileuses, généralement loués dans les grandes exploitations voisines. Malgré un coût plus faible de l'option ensilage, l'éleveur préfère conserver un fourrage à culture pluriannuelle – la canne à sucre – et peu risquée. Toutefois, il n'exclut pas d'étudier l'option ensilage, notamment pour développer un projet d'acquisition collective de tracteur.

3.3.3. Dynamique d'augmentation du troupeau (cas 3)

Le cas 3 illustre l'utilisation du modèle en exploration pluriannuelle. L'objectif de l'éleveur est d'augmenter sa production jusqu'à environ 200 litres par jour pour rembourser l'achat des

équipements de traite et du tank à lait. Pour y parvenir, il envisage d'augmenter la taille et la productivité de son troupeau en élevant toutes les génisses. Cette stratégie de croissance interne, combinée à la pratique de l'insémination artificielle, lui permet de ne pas faire de gros investissements dans le troupeau de laitières, tout en améliorant la production potentielle de lait. Les ressources fourragères actuelles sont très excédentaires en saison sèche (canne à sucre) et légèrement excédentaires en saison des pluies (pâturage). L'éleveur envisage d'agrandir sa sole de pâturage de 3 ha d'ici un an, sur une parcelle actuellement en monoculture de maïs. Il dispose également de 3 ha de terre en friche. Le scénario testé consiste à explorer l'évolution du système à partir de la situation actuelle pour souligner les déficits fourragers intervenant au cours de la trajectoire. Les déficits fourragers sont corrigés à chaque occurrence par un agrandissement de la sole de canne à sucre ou une augmentation de la productivité des pâturages (Tableau 12). Les autres pratiques actuelles sont conservées, les génisses de l'exploitation ont un potentiel laitier supérieur à leurs mères, et les vaches de 1500 litres sont réformées lorsqu'une génisse vêle. Quatre années ont été simulées (Figure 18).

Tableau 12 : Surface et productivité des différentes cultures fourragères des quatre années simulées pour le cas 3

	Unité	2009/2010 (Scénario de base)	2010/2011	2011/2012	2012/2013
Surface de canne à sucre	ha	2.5	2.5	2.5	4
Productivité de la canne à sucre	t/ha/an	70	70	70	70
Surface de pâturage	ha	11	14	14	14
Productivité moyenne des pâturages	t/ha/an	20	21.1	27.9	27.9
Surface de maïs	ha	3	0	0	0
Jachère	ha	3	3	3	1.5

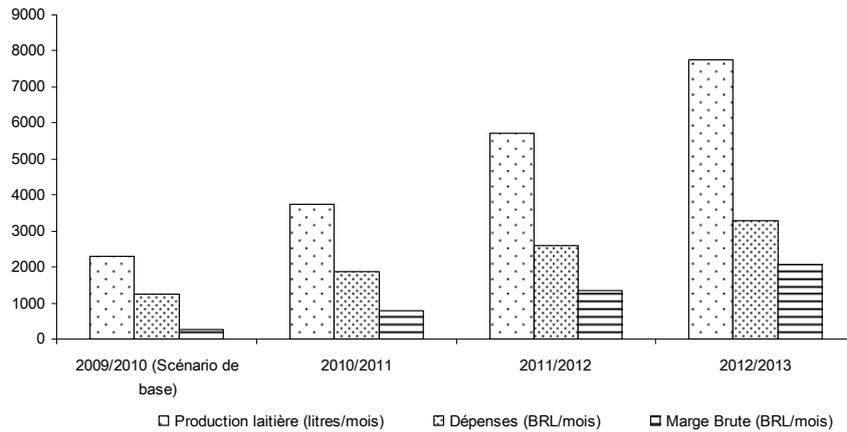


Figure 18 : Production laitière, coûts et marge brute mensuels des quatre prochaines années pour le cas 3

L'objectif de produire 200 litres par jour est atteint en trois à quatre ans, avec un revenu atteignant des niveaux jugés confortables par l'éleveur. Les équipements actuels permettent d'accueillir le troupeau correspondant, et la main d'œuvre est jugée suffisante pour effectuer tous les travaux en 2012/2013. L'augmentation de la sole de canne à sucre nécessaire d'ici trois à quatre ans n'a pas surpris l'éleveur, pas plus que la nécessité de fertiliser les pâturages pour en obtenir un rendement suffisant. Mais l'éleveur admet avoir limité jusqu'à maintenant ses dépenses en engrais et il envisage d'y porter plus d'attention à la lumière des résultats des simulations.

4. Discussion

L'utilisation de DairyMoTion avec trois éleveurs a montré que différents types de questionnements pouvaient être traités par la démarche d'accompagnement, qu'elles touchent la reconfiguration d'un système de production existant ou sa dynamique d'évolution dans le temps, avec ou sans introduction de pratiques innovantes pour l'éleveur. Les résultats fournis par le modèle sont des tendances pour un scénario donné, qui permettent d'évaluer et comparer de manière prospective différentes alternatives, et de porter la discussion sur les différents éléments du système de production, même lorsqu'ils ne sont pas pris en compte par le modèle comme le travail. Dans les trois cas présentés, les différentes étapes de la démarche, de la formulation du premier scénario à la discussion finale, ont permis à l'éleveur de structurer et préciser son projet, de comparer différentes solutions et d'élargir sa réflexion, le tout sur la base des éléments chiffrés fournis par les simulations.

Les producteurs ont été intéressés à travailler à l'échelle de l'exploitation agricole, qui permet de faire le lien entre les différentes composantes du système de production, de manière

qualitative (relations de cause à effet) et quantitative (dimensionnements relatifs des différentes ressources). Par exemple, ils calculent rarement les ressources fourragères nécessaires pour couvrir les besoins du troupeau et la surface nécessaire pour produire ces fourrages, avant de dimensionner les surfaces fourragères. De même, les dépenses sont souvent basées sur la trésorerie et non sur une analyse du compte d'exploitation annuel, qui permet une meilleure évaluation des performances économiques de l'exploitation. Les éleveurs étudiés ont cependant souhaité que soit associée à cette démarche une offre de conseil plus technique, en matière de production végétale (variétés et itinéraires techniques adaptés aux types de sol de l'exploitation) et animale (conduite du troupeau au pâturage, soins aux animaux).

Ces résultats montrent qu'au delà des approximations dans la simulation du système de production, les tendances données par DairyMoTion fournissent une base permettant de discuter avec l'éleveur autour de son projet d'élevage comme le font Andrieu and Nogueira (2009), et de traiter différentes questions qu'il se pose. Les décisions stratégiques sont prises sous un grand nombre d'incertitudes, indépendantes du producteur, comme le contexte économique ou la variabilité climatique. Ces incertitudes sur le moyen et long terme justifient de fonder les discussions avec les producteurs sur les tendances fournies par les simulations et une représentation simplifiée des processus biophysiques à l'échelle de l'animal, de la parcelle ou de l'exploitation. En ce sens, notre démarche rejoint celle de *Companion modelling* appliquée à la gestion des ressources naturelles, où le processus d'apprentissage est fortement suscité par la discussion entre les participants sur la base de l'utilisation combinée d'outils de simulation et de jeux de rôle (Barreteau et al., 2003).

Les choix de modélisation faits dans DairyMoTion répondent à cet objectif d'interaction entre l'utilisateur et le producteur *via* la comparaison de solutions alternatives. La simulation autorise l'exploration d'une large gamme de configurations par une simple saisie des données d'entrée. La représentation animal (lot d'animaux)-centrée s'adapte particulièrement aux troupeaux et pratiques hétérogènes des exploitations étudiées. Les mois de vêlage et les intervalles entre vêlages non fixés permettent d'adapter les scénarios aux pratiques réelles des producteurs, tout en gardant la possibilité de regrouper les vêlages, ou d'avoir des paramètres zootechniques uniques pour le troupeau. Les rations peuvent être adaptées aux ressources alimentaires de l'exploitation par simulation d'un nouveau scénario, ce qui permet de tester des stratégies de rationnement en fonction des ressources, contrairement aux modèles assurant dans tous les cas une alimentation optimale basée sur la satisfaction des besoins (Modin-Edman et al., 2007; Schils et al., 2007). La production de lait utilise un modèle métabolique simple. On peut ainsi tester l'effet de l'alimentation sur les résultats technico-économiques,

contrairement à certains modèles où l'alimentation est dimensionnée en fonction de la production théoriquement visée (Berentsen and Giesen, 1995; Bernet et al., 2001).

Les règles de décision de l'éleveur ne rentrent pas formellement dans l'application, au contraire de certains modèles qui intègrent une représentation des règles telles qu'observées sur des exploitations réelles (Cros et al., 2004; Romera et al., 2004; Vayssières et al., 2007). Les variables résultant des décisions sont saisies comme données d'entrée d'une part, et ajustées en fonction des résultats d'autre part. Cette technique laisse à l'utilisateur une grande souplesse quant au choix des scénarios et des pratiques à tester. Elle a de plus une fonction didactique grâce à l'action directe des variables d'entrée sur les variables de sortie, diminuant l'effet « boîte noire » du modèle. Par ailleurs, nous faisons l'hypothèse qu'une telle structure permet d'adapter plus facilement le modèle à d'autres exploitations ou contextes que ceux ayant servi à sa conception, comme l'a montré le passage du contexte marocain au Brésil. Ce choix répond également au souhait de pouvoir utiliser de telles applications dans des situations où la disponibilité des données est une contrainte, que ce soit sur les processus biophysiques ou les exploitations agricoles elles-mêmes.

Ces choix conceptuels montrent cependant des limites. Certaines variables peuvent manquer de précision, soit par défaut de références s'il s'agit de variables d'entrée, ou par approximations dans les calculs concernant les variables de sortie. Par exemple, si la productivité des pâturages peut être calibrée pour la situation actuelle, les effets d'interactions entre productivité et chargement sont en revanche difficilement estimables. Certains modèles sont centrés sur cet aspect, mobilisant des modèles biophysiques pour calculer la productivité et la qualité nutritionnelle des prairies sous l'effet de défoliation dû au pâturage (Barioni et al., 1999; Cros et al., 2003). Ils pourraient être utilisés pour fournir une base de références remobilisables dans DairyMoTion, mais nécessitent d'être validés dans des conditions locales. De même, les innovations techniques ne peuvent être simulées que si les références agronomiques les décrivant sont disponibles. Par ailleurs, une analyse de sensibilité est à mettre en place pour identifier les variables d'entrée qui influencent le plus les variables de sortie et dont la quantification doit être plus précise.

Certaines innovations ne peuvent pas être testées avec la version actuelle de DairyMoTion. La gestion des déjections animales est un point intéressant à développer dans le futur pour simuler des systèmes plus intensifs où existe un risque de pollution ou des systèmes utilisant les déjections comme fumure organique comme on le voit dans les exploitations familiales de nombreux pays tropicaux (Dugué and Dongmo, 2004; Tiftonell et al., 2009; Vall et al., 2006). Le travail est une composante importante du fonctionnement des exploitations familiales

laitières, où la main-d'œuvre permanente doit à la fois assurer les travaux d'astreinte quotidienne liés aux animaux et les travaux plus saisonniers liés à la conduite des productions fourragères ou non (Hostiou and Dedieu, 2009). Il serait intéressant de l'intégrer, ne serait-ce que pour ne pas surévaluer les avantages d'un scénario. Mais sa formalisation dans un modèle est problématique. La quantification des tâches, nécessaire pour l'informatisation n'est pas proportionnelle à la taille du troupeau (Aubron et al., 2009) et reste très relative à chaque exploitation ou se révèle fastidieuse à mesurer (Burks et al., 2006). De plus, les innovations dont la mise en œuvre pratique est inconnue des éleveurs compliquent l'évaluation de la demande en travail liée à leur adoption.

Dans une perspective de transfert à des conseillers agricoles DairyMoTion demande également une refonte informatique vers un outil plus générique que le tableur, qui fournirait plus de souplesse d'adaptation à une large gamme d'exploitations laitières. Cette évolution touche à la fois la conception de la base des données d'entrées, à partir du diagramme de classe présenté en Figure 13, et le développement d'interfaces *user-friendly* qui faciliteront l'utilisation de DairyMoTion, notamment pour la co-construction de scénarios par le conseiller avec le producteur (Jame and Cutforth, 1996). Enfin, l'aboutissement du développement de DairyMoTion nécessite un travail en partenariat avec les conseillers pour évaluer la capacité de la démarche à être mise en œuvre dans un contexte de conseil agricole. Les questions portant sur l'intérêt du conseil stratégique par rapport à un appui technique plus classique, de son financement par rapport à son coût de mise en œuvre, sont à traiter en partenariat avec des organismes de conseil en place. Pour des raisons contextuelles de calendrier et d'organisation du partenariat, ce processus n'a pu être conduit jusqu'à présent sur le terrain brésilien. Idéalement, il devrait s'initier très en amont de la conception de la démarche et des outils, de manière à associer dans une même réflexion chercheurs, producteurs et conseillers.

5. Conclusion

DairyMoTion est un modèle de simulation fonctionnant à l'échelle d'une exploitation laitière, qui réalise des bilans entre l'offre fourragère produite sur l'exploitation et la demande alimentaire émanant du troupeau *via* les modes d'alimentation des différents lots d'animaux présents sur l'exploitation. L'application calcule la production de lait permise par les rations, et un ensemble d'indicateurs économiques de l'activité laitière. Son utilisation comme support d'une démarche d'accompagnement a été testée auprès d'éleveurs récemment installés. La structure du modèle, proche des modes de raisonnement technico-économique des éleveurs, et la comparaison de scénarios répondant à leurs questionnements et intégrant différentes

innovations leur a permis d'évaluer les impacts technico-économiques des options envisagées et de préciser leurs projets.

DairyMoTion a été conçu à partir d'une première application utilisée au Maroc, enrichie d'aspects présents dans les exploitations brésiliennes. Ses principes de conception combinent des objectifs de généricité et de souplesse d'utilisation, qui se traduisent par une représentation du fonctionnement de l'exploitation laitière excluant les processus biophysiques et les règles de décision du processus de modélisation. Le caractère générique de DairyMoTion serait à évaluer dans d'autres contextes, en insistant sur la phase de transfert à des conseillers agricoles. Ceux-ci sont en effet considérés comme les utilisateurs de cette démarche d'accompagnement dans la mesure où l'application est vue comme un outil au service de la discussion entre conseillers et éleveurs. Cette phase encore non amorcée pourrait amener à modifier certaines caractéristiques de DairyMoTion, dont sa configuration informatique, en fonction de ses modalités d'utilisation par les conseillers.

Remerciements

Les auteurs remercient les éleveurs d'Unai-MG ayant participé à l'étude, les collègues de l'Embrapa Cerrados pour leur accueil et soutien et Stéphane Ingrand pour ses ingénieuses propositions de nom de modèle.

Discussion générale

L'objectif de ce travail était de proposer une démarche d'accompagnement fondée sur l'utilisation d'un modèle de simulation pour appuyer la réflexion des éleveurs laitiers dans la conception de leurs systèmes de production. La nécessité de concevoir des systèmes de production appropriables par les producteurs et adaptés à leur propre situation, et les perspectives offertes par les modèles en matière de conception de systèmes de production nous amenaient à faire l'hypothèse que l'utilisation d'un modèle de simulation, permettant l'exploration de différents scénarios, dans une démarche personnalisée de conseil pouvait aider le producteur dans la construction de son projet. Nous nous interrogeons alors sur le modèle à utiliser, ou développer, pour répondre à l'objectif d'accompagnement des producteurs laitiers dans la réflexion sur leurs systèmes.

Le présent document se structurait en deux parties de résultats, la première cherchant à analyser le fonctionnement des élevages laitiers de la zone d'étude et les facteurs de réussite de ces exploitations pour en tirer les conclusions quant à la démarche d'accompagnement à mettre en œuvre et le modèle à utiliser, et la deuxième présentant le modèle développé et son utilisation en situation de conseil auprès des producteurs.

Ainsi, sur la base d'un échantillon de six exploitations, le chapitre 3 a montré qu'il existe une diversité parmi les exploitations laitières d'un même bassin de collecte malgré la diffusion d'un benchmark qui tendrait à uniformiser les exploitations autour des mêmes pratiques. Pourtant, ces exploitations parviennent à s'insérer dans la filière et représentent des fournisseurs importants pour le collecteur compte tenu de la part des volumes livrés par les petits producteurs dans la collecte totale. Les facteurs explicatifs des différences de résultats technico-économiques entre les exploitations font autant appel à des choix stratégiques (projets différents qui s'expriment à travers des configurations différentes des systèmes de production) que tactiques (différentes pratiques d'alimentation par exemple), ainsi qu'à des problèmes de maîtrise technique. Le chapitre 3 montrait ainsi que proposer un benchmark n'est pas suffisant pour permettre aux producteurs de réussir dans leur entreprise, et concluait sur l'intérêt, pour le collecteur notamment, de prendre en compte la diversité des exploitations dans la mise au point d'une démarche de conseil. Les principes de développement du modèle à utiliser dans la démarche de conseil sont tirés des enseignements du chapitre 3. Le chapitre 4 décrivait alors le modèle DairyMoTion, conçu pour accompagner les éleveurs dans la réflexion sur leurs stratégies d'élevage et présentait trois cas d'utilisation du modèle en situation d'accompagnement. Il a montré que les trois éleveurs ont précisé leur projet à partir de l'exploration de scénarios alternatifs ; en ce sens, le chapitre 4 répondait à l'objectif de ce travail.

Avant d'entamer la discussion sur l'outil et la démarche testée, interrogeons-nous sur la représentativité de l'échantillon. Six exploitations constituent notre échantillon, dans un bassin qui compte 1600 familles installées par le processus de réforme agraire. La diversité des systèmes de production laitière de la zone d'étude n'a pas été caractérisée par des études antérieures. La réalisation d'une telle analyse a d'abord été envisagée, pour mieux assoir la description de ces systèmes ; elle n'a finalement pas été retenue, compte tenu des délais impartis pour réaliser cette thèse. L'objectif de mener le travail jusqu'à la phase d'expérimentation de la démarche auprès des éleveurs a été privilégié. Les exploitations ont alors été choisies suffisamment diverses vis-à-vis de critères explicités au chapitre 2, de sorte à rencontrer différents questionnements par rapport à l'avenir de l'exploitation qui permettraient de tester la démarche. L'échantillon se limite à six cas pour permettre une analyse approfondie de chacun. Il n'est pas possible, même *a posteriori*, de replacer ces six exploitations par rapport à la diversité des exploitations laitières de la zone, ni les trois *assentamentos* parmi les 27 que compte le municipe. Toutefois, même si tous les types de questionnements n'ont pas été rencontrés, l'outil développé est relativement plastique pour tester une certaine variété de questionnements. La généralité du modèle pourra être mise à l'épreuve dans d'autres contextes d'élevage laitier, en évaluant sa capacité à représenter le fonctionnement d'autres exploitations laitières et à répondre aux problématiques qui s'y posent.

La principale spécificité du modèle développé est de pouvoir être utilisé dans une démarche d'accompagnement, quand la plupart des modèles représentant l'exploitation laitière sont des outils de recherche. Pour répondre à cet objectif, le modèle utilisé dans la démarche doit être construit selon des principes spécifiques. Son fonctionnement doit être intelligible et didactique pour les utilisateurs –producteurs et conseillers– pour répondre au besoin d'apprentissage des producteurs, et nécessiter peu de données pour fonctionner. Nous avons développé un modèle de simulation, avec une architecture relativement simple. La simulation a pour intérêt de représenter les conséquences de décision stratégique. Le nombre d'étapes de calcul est réduit en utilisant des variables d'entrée synthétiques au lieu d'utiliser les variables en amont que des modèles plus complexes utilisent pour prédire la variable d'intérêt. De plus, nous avons choisi de ne pas inclure de règles de décision. Ainsi, l'effet d'un changement de pratiques est facilement interprétable sur les variables de sortie, sans avoir à analyser les modifications de variables intermédiaires. Nous évitons l'effet « boîte noire » de modèles trop complexes et l'obtention de solutions optimales, qui pourraient être accueillies comme la marche à suivre par certains producteurs, ou rejetées par d'autres producteurs plus réticents car trop directives ou trop différentes de leur projet. Nous excluons également les relations statistiques, qui ne sont valables que pour une région donnée.

Les problématiques rencontrées dans ces systèmes instables relèvent plus des grands équilibres du système, en particulier offre fourragère-demande du troupeau, que de la gestion fine d'une des composantes. Pour explorer différentes stratégies de configuration des systèmes, le modèle devait représenter les composantes troupeau et cultures fourragères, avec une grande souplesse dans leur paramétrage. Les questions tactiques sur l'alimentation du troupeau étant traitées par l'interaction entre ces deux composantes. Le modèle permet ainsi de traiter des questions de dimensionnement des cultures, de grands choix fourragers, de dynamique d'évolution des troupeaux, en effectifs et en types génétiques, et des pratiques d'alimentation dans leurs grandes lignes. Pour représenter des situations variées, le fonctionnement général du modèle est réduit à trois procédures de base : le disponible végétal est calculé à partir du rendement renseigné par l'utilisateur ; les rations ingérées sont calculées à partir des rations distribuées renseignées par l'utilisateur, en complément des ressources pâturées, limitées par le disponible fourrager et la capacité d'ingestion ; la production laitière est calculée à partir des rations ingérées et limitées par un potentiel de production renseigné par l'utilisateur. Dans chaque module, les variables sont paramétrables et indépendantes au maximum les unes des autres. Dans le module de productions végétales, il est ainsi possible d'associer n'importe quel rendement à n'importe quel itinéraire technique ; le réalisme de la correspondance entre les deux est laissé à l'expertise du conseiller et du producteur, ce qui permet de représenter plus fidèlement les différences de fertilité ou de maîtrise technique d'une exploitation à l'autre. La liste des fourrages est extensible moyennant le renseignement des valeurs nutritives. Dans le module du troupeau, les caractéristiques de lactation et de reproduction sont paramétrables, et non fixes comme dans les modèles basés sur une gestion type du troupeau. Dans le module alimentation, les rations distribuées sont renseignées par l'utilisateur et non optimisées pour couvrir les besoins du troupeau.

Les données à renseigner sont peu nombreuses, ce qui fait de DairyMoTion un outil utilisable dans les situations peu renseignées. Son utilisation nécessite cependant une bonne description de son exploitation et de ses pratiques par l'éleveur et un processus de réflexion favorisé par le dialogue avec le conseiller. Elle nécessite également une bonne expertise pour renseigner certaines des variables synthétiques d'entrée.

Le modèle DALIB se basait déjà sur ces principes de fonctionnement. Cependant, il n'aurait pas été possible de l'utiliser dans le contexte brésilien, compte tenu des spécificités rencontrées lors de l'analyse du fonctionnement des exploitations laitières de la zone d'étude. Nous avons donc adapté DALIB au cas brésilien, élargissant ainsi le domaine d'applicabilité du modèle. Les grandes modifications apportées sont les suivantes.

Le nombre de types génétiques des animaux du troupeau a été augmenté de 1 à 3. Les questions d'évolution de la génétique du troupeau sont primordiales dans les situations rencontrées, concernées par la spécialisation laitière à partir d'un troupeau ayant des fonctions plus variées en début de trajectoire. L'utilisateur peut alors paramétrer les caractéristiques de

lactation et de reproduction pour 3 types génétiques différents, et tester différents scénarios de dynamique d'évolution des types génétiques au sein du troupeau.

Le pâturage a été inclus comme source fourragère. Contrairement au cas marocain, le pâturage est une source fourragère, principale pendant plus de la moitié de l'année, et éventuellement secondaire pendant la saison sèche. Cette inclusion implique une prise en compte du pâturage dans les productions fourragères, et dans le module alimentation. Des simplifications ont été faites pour des facilités de modélisation, qui correspondent à la gestion assez uniforme des différentes parcelles de pâturage rencontrée dans les exploitations enquêtées, contrairement aux situations françaises où la gestion du pâturage est une problématique forte des systèmes d'élevage (Leclerc et al., 2010). Aussi, les modèles français d'exploitation d'élevage sont-ils trop complexes pour les cas de figure que nous souhaitons traiter.

Le mode d'évolution du troupeau a été modifié pour prendre en compte des aspects primordiaux dans les exploitations, comme la dimension pluriannuelle dans les questionnements des éleveurs, l'élevage des génisses et leur intégration au troupeau de laitières, le devenir des veaux différant d'une exploitation à l'autre ou la disparité dans les cycles de lactation entre les types génétiques et d'une exploitation à l'autre. En simulant les carrières des vaches, DairyMoTion propose une vraie continuité dans le suivi des troupeaux, qui tient compte des cycles de lactation, même lorsque l'intervalle entre vêlages est supérieur à 12 mois. Il permet également de paramétrer l'âge de vente des veaux en fonction du type génétique.

Si les principes de fonctionnement retenus permettent de tester une grande variété de scénarios, correspondant aux différents projets des éleveurs, les simplifications faites dans le développement et les aspects non pris en compte peuvent cependant se poser comme des limites du modèle.

Le choix d'éviter certains processus biophysiques pour ne considérer que leurs variables de sortie pose la question de la fiabilité des valeurs utilisées pour ces variables synthétiques, dans la mesure où une mauvaise estimation peut affaiblir la pertinence des résultats de simulation. Les productivités renseignées ne sont pas forcément plus accessibles que les variables en amont classiquement utilisées dans les modèles biophysiques pour les simuler. Si des analyses ou des mesures peuvent être réalisées dans chaque exploitation pour connaître les valeurs réelles des variables synthétiques à utiliser dans le scénario de base, la question reste entière lorsqu'il s'agit d'explorer une modification dans les pratiques de l'éleveur, d'évaluer des innovations techniques ou de prendre en compte la variabilité climatique interannuelle. La réalisation d'une base de données de références pourrait venir compléter le travail réalisé. Les références peuvent être obtenues par un modèle biophysique, non nécessairement couplé à

DairyMoTion, ou issues d'expérimentations. La question qui se pose alors porte sur les facteurs à considérer qui entrent en compte dans l'élaboration de la variable d'intérêt. La voie la plus simple –qui ne nécessite pas de modification de DairyMoTion– consisterait à ne prendre en compte que des facteurs que l'utilisateur (l'éleveur ou le conseiller) peut estimer. Par exemple, considérer le type de sol, la variété végétale et l'itinéraire technique, pour estimer le rendement de la culture et la qualité du fourrage produit. Différents types d'années climatiques pourraient également être croisés à ces facteurs pour traiter des questions de risque face à l'aléa climatique, alors que DairyMoTion ne permet pas de le faire. Le cas du pâturage est d'autant plus complexe que la production, la structure et la qualité du couvert prairial varient au cours de l'année et sont en interaction avec le prélèvement effectué par le troupeau, qui dépend de la conduite. Seul un couplage avec un modèle permettrait de simuler ces interactions comme le font, de manière plus ou moins mécaniste, des modèles comme GrazFeed (Freer et al., 1997), SEPATOU (Cros et al., 2001), Pâtur'IN (Delaby et al., 2001), GrazeIn (Delagarde et al., 2004), SEBIEN (Jouven et al., 2006) ou SEDIVER (Martin, 2009). Mais le nombre de variables à renseigner et la complexité des mécanismes sont incompatibles avec les principes précédemment retenus dans le cadre d'une utilisation en situation de conseil.

Ces questions nous amènent à nous interroger sur la sensibilité du modèle. Une analyse de sensibilité permettrait d'identifier les variables les plus influentes sur les données de sortie, et qui requièrent une attention particulière dans leur calcul, mesure ou estimation. Par ailleurs, il serait intéressant de tester la sensibilité des scénarios aux fluctuations de climat et de prix. Il est actuellement possible de simuler manuellement un même système sous une gamme de prix, mais les questionnements des éleveurs vis-à-vis de l'évolution des prix des intrants et du lait et des aléas climatiques sont suffisamment prégnants dans les situations rencontrées pour envisager d'automatiser la procédure.

La prise en compte des seuls critères technico-économiques dans l'évaluation des résultats exclut des scénarios les questions environnementales et sociales. Le risque est de sélectionner des stratégies ayant des répercussions non désirables sur ces aspects. Certains indicateurs pourraient être calculés facilement à partir des données présentes dans DairyMoTion, et affichés dans la feuille de résultats. Dans le cas des impacts environnementaux, il serait aisé d'explicitier les flux de matière, notamment de calculer la fumure organique apportée par les déjections animales à partir de l'ingestion, ou les entrées de matière, potentiellement polluantes, dans le système via l'achat d'intrants. En revanche, le calcul d'indicateurs synthétiques de durabilité fait l'objet d'axes de recherche à part entière et d'outils spécifiques (MASC de Sadok et al. (2009) à l'échelle du système de culture, INDIGO de Bockstaller et Girardin (2006) ou DIALECTE de Solagro (2000) à l'échelle de l'exploitation agricole par exemple), et nécessiterait une réflexion plus approfondie. Concernant les répercussions sociales, l'intérêt de prendre en compte la composante travail dans la modélisation a été

discuté dans le chapitre 4. Compte tenu de l'importance de cet aspect dans les exploitations familiales, une étude portant sur l'organisation du travail est en cours d'élaboration. Une première étape de qualification et quantification de l'organisation du travail dans ces exploitations, en fonction des activités de la famille, de la main d'œuvre, du type de systèmes fourragers et de conduite du troupeau servira à développer un outil de calcul mettant en regard offre et demande en travail. Cet outil pourra être intégré à DairyMoTion ou être utilisé en complément dans la démarche d'accompagnement.

La démarche d'accompagnement individuel proposée répond bien à la nécessité de concevoir des systèmes adaptés aux situations propres des éleveurs. Ceux-ci font partie intégrante du processus de conception en définissant eux-mêmes les objectifs qu'ils souhaitent atteindre, et les leviers sur lesquels ils souhaitent agir. Toutefois, la représentation du système qu'utilise le modèle pose les limites des scénarios qu'il est possible de tester ; les éleveurs, n'ayant pas participé à l'élaboration du modèle conceptuel, sont contraints par ces limites. Cependant, notre expérience s'est révélée concluante pour construire un dialogue avec l'éleveur autour de son projet d'élevage et le faire progresser dans sa réflexion. Le processus d'élaboration de la démarche doit maintenant connaître une phase de transfert aux acteurs du conseil pour opérationnaliser la démarche. Cet aspect sort du cadre du présent travail, mais les améliorations possibles discutées plus haut méritent d'être considérées lors du développement d'un outil transférable. En effet, une refonte informatique est nécessaire pour améliorer l'ergonomie du modèle et le faire évoluer vers un outil plus convivial, basé sur le même modèle conceptuel et incluant une base de données, des traitements et une interface utilisateur. La séparation des données et des traitements faciliterait les évolutions futures du modèle, comme l'intégration de modules. Les évolutions de DairyMoTion sont à envisager en partenariat les acteurs du conseil. Sur le terrain Unai, le groupe technique affilié au STR et les techniciens du Projet Balde Cheio se présentent comme des utilisateurs potentiels de DairyMoTion. Nous préconisons de les rencontrer pour envisager un partenariat. La filière lait pourrait également être le fournisseur du service en mettant en place un dispositif d'appui technique. Enfin, la phase de transfert nécessite la conception d'une démarche et d'un support pédagogique pour la formation à l'utilisation de DairyMoTion. La manipulation technique de DairyMoTion demande une phase de prise en main mais le modèle ne dit pas tout. Plus le modèle est performant, plus il peut être utilisé à mauvais escient dans une perspective normative. La qualité du dialogue avec l'éleveur, qui fait l'intérêt de la démarche, demande plus encore une formation adéquate des conseillers.

Pour conclure, ce travail présente l'originalité de centrer la modélisation sur la conception de systèmes, en particulier la calibration des équilibres offre-demande, et s'intègre dans une

démarche d'accompagnement qui privilégie le dialogue conseiller-éleveur aux prescriptions normatives. Il propose une application informatique développée et testée en situation de conseil réelle. Outre les phases de refonte informatique et de transfert aux utilisateurs, nécessaires à l'opérationnalité de la démarche, DairyMoTion peut trouver une utilisation dans le milieu de la recherche pour tester des systèmes innovants.

Références bibliographiques

- Adams, G., 2000. Extension advisory services in Central and Eastern Europe, Human resources in agricultural and rural development. FAO, Rome, Italy, pp. 8-21.
- Ahuja, L.R., Andales, A.A., Ma, L., Saseendran, S.A., 2007. Whole-system integration and modeling essential to agricultural science and technology for the 21st century. *Journal of Crop Improvement* 19, 73-103.
- Altieri, M.A., 1986. *L'Agroécologie : Bases scientifiques d'une agriculture alternative*. Debard, Paris.
- Andrieu, N., Nogueira, D.M., 2009. Modeling biomass flows at the farm level: a discussion support tool for farmers. *Agron. Sustain. Dev.* 26 (2006) PREPRINT.
- Attonaty, J.-M., Chatelin, M.-H., Garcia, F., 1999. Interactive simulation modeling in farm decision making. *Computers and Electronics in Agriculture* 22, 157-170.
- Aubron, C., 2007. Lait et fromage dans un pays andin : quelle place pour les filières artisanales péruviennes face aux industries laitières ? *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux* 60, 189-197.
- Aubron, C., Cochet, H., Brunschwig, G., Moulin, C.H., 2009. Labor and its productivity in andean dairy farming systems: a comparative approach. *Hum Ecol* 37, 407-419.
- Bainville, S., Affholder, F., Figuié, M., Madeira Netto, J.d.S., 2005. Les transformations de l'agriculture familiale de la commune de Silvânia : une petite révolution agricole dans les cerrados brésiliens. *Cahiers Agricultures* 14, 104-110.
- Barioni, L.G., Dake, C.K.G., Parker, W.J., 1999. Optimizing rotational grazing in sheep management systems. *Environment International* 25, 819-825.
- Barreteau, O., Antona, M., d'Aquino, P., Aubert, S., Boissau, S., Bousquet, F., Daré, W.s., Etienne, M., Le Page, C., Mathevet, R., Trébuil, G., Weber, J., 2003. Our companion modelling approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 6, [online] <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/1.html>>.
- Bartl, K., Mayer, A.C., Gómez, C.A., Muñoz, E., Hess, H.D., Holmann, F., 2009. Economic evaluation of current and alternative dual-purpose cattle systems for smallholder farms in the central Peruvian highlands. *Agricultural Systems* 101, 152-161.
- Berentsen, P.B.M., Giesen, G.W.J., 1995. An Environmental-Economic Model at Farm Level to Analyse Institutional and Technical Change in Dairy Farming. *Agricultural Systems* 49, 153-175.

- Bernard, J., Le Gal, P.Y., Triomphe, B., Hostiou, N., Moulin, C.H., 2010. Involvement of small-scale dairy farms in an industrial supply chain: when production standards meet farm diversity *Animal* Published online: 15 Dec 2010.
- Bernet, T., Ortiz, O., Estrada, R.D., Quiroz, R., Swinton, S.M., 2001. Tailoring agricultural extension to different production contexts: a user-friendly farm-household model to improve decision-making for participatory research. *Agricultural Systems* 69, 183-198.
- Bittencourt, G.A., Castilhoas, D.S.B.d., Bianchini, V., Silva, H.B.C.d., 1998. Principais fatores que afetam o desenvolvimento dos assentamentos de reforma agrária no Brasil, Projeto de Cooperação Técnica INCRA/FAO, Brasília, p. 68.
- Blancaneaux, P., Freitas, P.L., Amabile, R.F., Carvalho, A., 1993. Le semis direct comme pratique de conservation des sols des cerrados du Brésil central. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie* 28, 253-275.
- Bockstaller, C., Girardin, P., 2006. Mode de calcul des indicateurs agri-environnementaux de la méthode INDIGO (Version 1.61 du logiciel). INRA COLMAR/ARAA.
- Brochet, M., Debouvry, C., Fusilier, C., Maragnani, A., 2002. La formation, l'information, les centres de services, *Memento de l'agronome*. Quae, pp. 179-198.
- Burks, T.F., Turner, L.W., Crist, W.L., 2006. Distribution Fitting and Parameterization of Individual Operator Work Routine Times for Small Dairy Parlors. *Journal of Dairy Science* 89, 2343-2352.
- Burrell, A., 2004. The 2003 CAP reform: Implications for the EU dairy sector. *Outlook on Agriculture* 33, 15-25.
- Cabrera, V.E., Breuer, N.E., Hildebrand, P.E., Letson, D., 2005. The dynamic North Florida dairy farm model: A user-friendly computerized tool for increasing profits while minimizing N leaching under varying climatic conditions. *Computers and Electronics in Agriculture* 49, 286-308.
- Carvalho, F.d.M., Ramos, É.O., Lopes, M.A., 2009. Análise comparativa dos custos de produção de duas propriedades leiteiras, no município de Unaí-MG, no período de 2003 e 2004. *Ciência e Agrotecnologia* 33, 1705-1711.
- Cerf, M., Hemidy, L., 1999. Designing support to enhance co-operation between farmers and advisors in solving farm-management problems. *The Journal of Agricultural Education and Extension* 6, 157 - 170.
- Chapman, D.F., Kenny, S.N., Beca, D., Johnson, I.R., 2008. Pasture and forage crop systems for non-irrigated dairy farms in southern Australia. 1. Physical production and economic performance. *Agricultural Systems* 97, 108-125.

- Chardon, X., Rigolot, C., Baratte, C., Martin-Clouaire, R., Rellier, J.-P., Raison, C., Le Gall, A., Dourmad, J.Y., Poupa, J.C., Delaby, L., Morvan, T., Leterme, P., Paillat, J.-M., Espagnol, S., Faverdin, P., 2009. MELODIE: A whole farm-model to simulate the environmental impacts of animal farming systems, in: Oxley, L., Kulasiri, D. (Eds.), MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation. Modeling and Simulation Society of Australia and New Zealand, pp. 1638-1645.
- Corniaux, C., Duteurtre, G., Dieye, P.N., Pocard Chapuis, R., 2005. Les minilaiteries comme modèle d'organisation des filières laitières en Afrique de l'Ouest : succès et limites. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux* 58, 237-243.
- Cox, P.G., 1996. Some issues in the design of agricultural decision support systems. *Agricultural Systems* 52, 355-381.
- Cros, M.J., Duru, M., Garcia, F., Martin-Clouaire, R., 2001. Simulating rotational grazing management. *Environment International* 27, 139-145.
- Cros, M.J., Duru, M., Garcia, F., Martin-Clouaire, R., 2003. A biophysical dairy farm model to evaluate rotational grazing management strategies. *Agronomie* 23, 105-122.
- Cros, M.J., Duru, M., Garcia, F., Martin-Clouaire, R., 2004. Simulating management strategies: the rotational grazing example. *Agricultural Systems* 80, 23-42.
- de Geus, A.P., 1992. Modelling to predict or to learn? *European Journal of Operational Research* 59, 1-5.
- de Wit, C.T., 1965. Photosynthesis of leaf canopies, *Agricultural Research Report* 663. PUDOC, Wageningen, The Netherlands, p. 57.
- Debeake, P., 2009. Quels outils pour concevoir, conduire et évaluer des systèmes de culture adaptés à la contrainte hydrique. *Gestion des ressources en eau et en sol*, in: Bouziz, A., Choukr-Allah, R., Mraber, R., Falisse, A. (Eds.), *Durabilité des systèmes de culture en zone méditerranéenne*, Rabat, Maroc, pp. 283-293.
- Delaby, L., Peyraud, J.L., Faverdin, P., 2001. Pâtur'IN: le pâturage des vaches laitières assisté par ordinateur. *Fourrages* 167, 385-398.
- Delagarde, R., Faverdin, P., C, B., Peyraud, J.L., 2004. Prévoir l'ingestion et la production des vaches laitières : GrazeIn, un modèle pour raisonner l'alimentation au pâturage. *Rencontre Recherche Ruminants* 11, 295-298.
- Delgado, C.L., Rosegrant, M.W., Steinfeld, H., Ehui, S.K., Courbois, C., 1999. *Livestock to 2020: The Next Food Revolution*. International Food Policy Research Institute, Washington DC.

- Dieye, P.N., Duteurtre, G., Sissokho, M.M., Sall, M., Dia, D., 2005. Linking local production to urban demand: the emergence of small-scale milk processing units in Southern Senegal. *Livestock Research for Rural Development* 17.
- Dieye, P.N., Montaigne, E., Duteurtre, G., Boutonnet, J.-P., 2008. The contractual agreements role in developing local dairy system and mini-dairies in Senegal. *Economie Rurale* 303/305, 108-122.
- Dobos, R.C., Ashwood, A.M., Moore, C., Youman, M., 2004. A decision tool to help in feed planning on dairy farms. *Environmental Modelling & Software* 19 967-974.
- Dobremez, L., Bousset, J.-P., 1996. *Rendre compte de la diversité des exploitations agricoles. Une démarche d'analyse par exploration conjointe de sources statistiques, comptables et technico-économiques.* Cemagref Editions, Antony.
- Doré, T., Le Bail, M., Martin, P., Ney, B., Roger-Estrade, J., 2006. *L'agronomie aujourd'hui.* Editions Quae.
- Dries, L., Germenji, E., Noev, N., Swinnen, J.F.M., 2009. Farmers, vertical coordination, and the restructuring of dairy supply chains in Central and Eastern Europe. *World Development* 37, 1742-1758.
- Dueri, S., Calanca, P.L., Fuhrer, J., 2007. Climate change affects farm nitrogen loss - A Swiss case study with a dynamic farm model. *Agricultural Systems* 93, 191-214.
- Dugué, P., Dongmo, A.L., 2004. Traction animale et association agriculture élevage dans les savanes d'Afrique de l'ouest et du centre. D'un modèle techniciste à une démarche d'intégration raisonnée à différentes échelles. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux* 57, 157-165.
- Espinoza-Ortega, A., Espinosa-Ayala, E., Bastida-López, J., Castañeda-Martínez, T., Arriaga-Jordán, C.M., 2007. Small-scale dairy farming in the Highlands of Central Mexico: technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture* 43, 241-256.
- Facó, O., Lôbo, R.N.B., Martins Filho, R., Lima, F.d.A.M., 2005. Idade ao primeiro parto e intervalo de partos de cinco grupos genéticos Holandês x Gir no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34, 1920-1926.
- Ferreira, A.M., Sá, W.F., Camargo, L.S.A., Viana, J.H.M., 2001. Manejo reprodutivo de rebanhos leiteiros, in: Embrapa Gado de leite, F.O. (Ed.), *Capacitação em tecnologias para produção de leite nos trópicos*, Juiz de Fora - MG, pp. 85-97.
- Ferreira, N., Cattoni, C.J., Caceres, S.C., Frutos, J., 2007. An economic opportunity survey of small dairy farms in Paraguay. *Tropical Animal Health and Production* 39, 603-610.

- Freer, M., Moore, A.D., Donnelly, J.R., 1997. GRAZPLAN: Decision support systems for Australian grazing enterprises--II. The animal biology model for feed intake, production and reproduction and the GrazFeed DSS. *Agricultural Systems* 54, 77-126.
- Freitas, M.S.d., Durães, M.C., Freitas, A.F., Barra, R.B., 2001. Comparação da produção de leite e de gordura e da duração da lactação entre cinco “graus de sangue” originados de cruzamentos entre Holandês e Gir em Minas Gerais. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 53, 708-713.
- Gastal, M.L., Xavier, J.H.V., Rocha, F.E.d.C., Molina, M.C., Zoby, J.L.F., 2002. Método participativo de apoio ao desenvolvimento sustentável de assentamentos de reforma agrária, Documentos, 74. Embrapa, Planaltina, DF, p. 41.
- Gastal, M.L., Xavier, J.H.V., Zoby, J.L.F., Rocha, F.E.C., Silva, M.R., Ribeiro, C.F.D.A., Couto, P.H.M., 2003. Projeto Unaí: diagnóstico rápido e dialogado de três assentamentos de reforma agrária, *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 118. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, p. 74.
- Girard, N., Bellon, S., Hubert, B., Lardon, S., Moulin, C.-H., Osty, P.-L., 2001. Categorising combinations of farmers' land use practices: an approach based on examples of sheep farms in the south of France. *Agronomie* 21, 435-459.
- Guimarães, J.D., Alves, N.G., Da Costa, E.P., Silva, M.R., Costa, F.M.J., Zamperlini, B., 2002. Eficiências reprodutiva e produtiva em vacas das raças Gir, Holandês e Cruzadas Holandês Zebu. *Revista Brasileira de Zootecnia* 31, 641-647.
- Herrero, M., Fawcett, R.H., Silveira, V., Busque, J., Bernues, A., Dent, J.B., 2000. Modelling the growth and utilisation of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) under grazing. 1. Model definition and parameterisation. *Agricultural Systems* 65, 73-97.
- Holloway, G., Nicholson, C., Delgado, C.L., Staal, S.J., Ehui, S.K., 2000. Agroindustrialization through institutional innovation - Transaction costs, cooperatives and milk-market development in the east-African highlands. *Agricultural Economics* 23, 279-288.
- Holmann, F., Rivas, L., Carulla, J., Rivera, B., Giraldo, L.A., Guzman, S., Martinez, M., Medina, A., Farrow, A., 2003. Evolution of Milk Production Systems in Tropical Latin America and its interrelationship with Markets: An Analysis of the Colombian Case. *Livestock Research for Rural Development* 15, Retrieved July 8, 2010, from <http://www.lrrd.org/lrrd2015/2019/holm2159.htm>.
- Hostiou, N., Dedieu, B., 2009. Diversity of forage system work and adoption of intensive techniques in dairy cattle farms of Amazonia. *Agron. Sustain. Dev.* 26 (2006) 29, 535-544.
- IBGE, 2008. Censo agropecuário 2006: Brasil, grandes regiões e unidades da federação.
- IBGE, 2010. Censo Demográfico 2010.

- INRA, 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. INRA Publications, Versailles.
- Institut de l'élevage, 2008. La filière laitière au Brésil : une affaire familiale, Economie de l'élevage. Département Economie (GEB), p. 98.
- Jame, Y.W., Cutforth, H.W., 1996. Crop growth models for decision support systems. *Canadian Journal of Plant Science* 76, 9-19.
- Jouve, P., 1986. Quelques principes de construction de typologies d'exploitations agricoles suivant différentes situations agraires, Cahiers de la recherche développement. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, pp. 48-56.
- Jouven, M., Carrère, P., Baumont, R., 2006. Model predicting dynamics of biomass, structure and digestibility of herbage in managed permanent pastures. 1. Model description. *Grass and Forage Science* 61, 112-124.
- Keating, B.A., McCown, R.L., 2001. Advances in farming systems analysis and intervention. *Agricultural Systems* 70, 555-579.
- Kerr, D.V., Cowan, R.T., Chaseling, J., 1999. DAIRYPRO - a knowledge-based decision support system for strategic planning on sub-tropical dairy farms. I. System description. *Agricultural Systems* 59, 245-255.
- Lana, R.d.P., 2003. Sistema Viçosa de formulação de rações, 2.ed ed. Editora UFV, Viçosa.
- Landais, E., 1987. Recherches sur les systèmes d'élevage. Questions et perspectives, Document de travail unité INRA-SAD, p. 75.
- Le Gal, P.Y., 2009. Agronomie et conception de systèmes de production innovants : concepts, démarches et outils, in: Bouaziz, A., Choukr-Allah, R., Falisse, A. (Eds.), Durabilité des systèmes du culture en zone méditerranéenne : gestion des ressources en eau et en sol. Actes du Symposium International AGDUMED, Rabat, Maroc, 14-16 mai 2006, pp. 318-328.
- Le Gal, P.Y., Kuper, M., Moulin, C.H., Puillet, L., Sraïri, M.T., 2007. Dispositifs de coordination entre industriel, éleveurs et périmètre irrigué dans un bassin de collecte laitier au Maroc. *Cahiers Agricultures* 16, 265-271.
- Le Gal, P.Y., Kuper, M., Moulin, C.H., Sraïri, M.T., Rhouma, A., 2009. Linking water saving and productivity to agro-food supply chains: A synthesis from two North African cases. *Irrigation and Drainage* 58, S320-S333.
- Leclerc, G., Bommel, P., Gibon, A., Lasseur, J., Hermes, M., 2010. Elaboration participative de modèles et de scénarios : une entrée pour analyser la coévolution des systèmes d'élevage extensif et des territoires. *Cahiers Agricultures* 19, 152-159.

- Lenne, P., 2006. Confrontation des connaissances entre agriculteurs et chercheurs dans un dispositif de co-construction de l'innovation : le cas du semis direct à Unaí (MG-Brésil). Université Paris I, p. 110 p.
- Lhoste, P., 1984. Le diagnostic sur le système d'élevage. Les Cahiers de la Recherche Développement 3-4, 84-88.
- Loevinsohn, M.E., Berdegué, J.A., Guijt, I., 2002. Deepening the basis of rural resource management: learning processes and decision support. *Agricultural Systems* 73, 3-22.
- Magne, M.-A., Ingrand, S., 2004. Advising beef-cattle farmers: Problem-finding rather than problem-solving. Characterization of advice practices in Creuse. *The Journal of Agricultural Education and Extension* 10, 181 - 192.
- Martin, G., 2009. Analyse et conception de systèmes fourragers flexibles par modélisation systémique et simulation dynamique, Institut National Polytechnique. Université de Toulouse.
- McCown, R.L., Carberry, P.S., Hochman, Z., Dalgliesh, N.P., Foale, M.A., 2009. Re-inventing model-based decision support with Australian dryland farmers. 1. Changing intervention concepts during 17 years of action research. *Crop Pasture Sci.* 60, 1017-1030.
- Meynard, J.-M., Aggeri, A.F., Coulon, J.B., Habib, R., Tillon, J.P., 2006. Recherches sur la conception de systèmes agricoles innovants - rapport du groupe de travail, p. 71.
- Modin-Edman, A.-K., Öborn, I., Sverdrup, H., 2007. FARMFLOW-A dynamic model for phosphorus mass flow, simulating conventional and organic management of a Swedish dairy farm. *Agricultural Systems* 94, 431-444.
- Moll, H.A.J., Staal, S.J., Ibrahim, M.N.M., 2007. Smallholder dairy production and markets: A comparison of production systems in Zambia, Kenya and Sri Lanka. *Agricultural Systems* 94, 593-603.
- Mouloud, N., Jaulin, B., Tonnelat, M.-A., Goguel, J., Guinand, S., Boudon, R., Richard, J.-F., Victorri, B., Damisch, H., 1999. Modèle, *Encyclopedia Universalis*.
- Muchagata, M., Brown, K., 2003. Cows, colonists and trees: rethinking cattle and environmental degradation in Brazilian Amazonia. *Agricultural Systems* 76, 797-816.
- Negrão, J.A., Marnet, P.G., 2006. Milk yield, residual milk, oxytocin and cortisol release during machine milking in Gir, Gir-Holstein and Holstein cows. *Reproduction, Nutrition, Development* 46, 77-85.
- Nkya, R., Kessy, B.M., Lyimo, Z.C., Msangi, B.S.J., Turuka, F., Mtenga, K., 2007. Constraints on smallholder market oriented dairy systems in the north eastern coastal region of Tanzania. *Tropical Animal Health and Production* 39, 627-636.

- NRC, 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle, 7th revised edition. National Academy of Sciences, Washington, DC, USA.
- NRC, 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7th revised edition. National Academy of Sciences, Washington, DC, USA.
- Olesen, J.E., Schelde, K., Weiske, A., Weisbjerg, M.R., Asman, W.A.H., Djurhuus, J., 2006. Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112, 207-220.
- Oliveira, M.N.d., Almeida, S.C.R., Macena Da Silva, F.A., Scopel, E., 2008. Tanques coletivos de resfriamento de leite : impactos na inserção ao mercado e no aumento da renda da agricultura familiar em Unaí - MG, II Simpósio internacional Savanas Tropicais, Parla Mundi, Brasília, DF, Brasil.
- Oliveira, M.N.d., Rocha, F.E.d.C., Xavier, J.H.V., 2006. Desenvolvimento sustentável de assentamentos de reforma agrária da região do DF e Entorno - um estudo de caso em Unaí - Minas Gerais, Brasil, VII Congreso Latinoamericano de Sociologia Rural, Quito, Ecuador.
- Oliveira, M.N.d., Xavier, J.H.V., Almeida, S.C.R., Scopel, E., 2009. Projeto Unaí : Pesquisa e desenvolvimento em assentamentos de reforma agrária. Embrapa Cerrados, Brasília, DF.
- Oliveira, P.P.A., 2006. Dimensionamento de piquetes para bovinos leiteiros, em sistemas de pastejo rotacionado, in: Técnico, C. (Ed.). Embrapa, São Carlos, SP.
- Osty, P.-L., 1978. L'exploitation agricole vue comme un système. *Bulletin technique d'information* 326, 43-49.
- Owango, M., Lukuyu, B., Staal, S.J., Kenyanjui, M., Njubi, D., Thorpe, W., 1998. Dairy co-operatives and policy reform in Kenya: effects of livestock service and milk market liberalisation. *Food Policy* 23, 173-185.
- Passioura, J.B., 1996. Simulation Models: Science, Snake Oil, Education, or Engineering? *Agronomy Journal* 88, 690-694.
- Pinheiro, M.E.F., 2007. Eficiência da produção familiar de leite: identificando benchmarks., Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Brasília, Brasília, DF, p. 156.
- Ramsden, S., Gibbons, J., Wilson, P., 1999. Impacts of changing relative prices on farm level dairy production in the UK. *Agricultural Systems* 62, 201-215.
- Reardon, T., Barrett, C.B., Berdegue, J.A., Swinnen, J.F.M., 2009. Agrifood industry transformation and farmers in developing countries. *World Development* 37, 1717-1727.
- Reau, R., Doré, T., 2008. Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Educagri éd., Dijon.

- Röling, N., de Jong, F., 1998. Learning: Shifting paradigms in education and extension studies. *The Journal of Agricultural Education and Extension* 5, 143 - 161.
- Romera, A.J., Morris, S.T., Hodgson, J., Stirling, W.D., Woodward, S.J.R., 2004. A model for simulating rule-based management of cow-calf systems. *Computers and Electronics in Agriculture* 42, 67-86.
- Rotz, C.A., Buckmaster, D.R., Comerford, J.W., 2005a. A beef herd model for simulating feed intake, animal performance, and manure excretion in farm systems. *J. Anim Sci.* 83, 231-242.
- Rotz, C.A., Buckmaster, D.R., Mertens, D.R., Black, J.R., 1989. DAFOSYM: A Dairy Forage System Model for Evaluating Alternatives in Forage Conservation. *Journal of Dairy Science* 72, 3050-3063.
- Rotz, C.A., Taube, F., Russelle, M.P., Oenema, J., Sanderson, M.A., Wachendorf, M., 2005b. Whole-Farm Perspectives of Nutrient Flows in Grassland Agriculture. *Crop Science* 45, 2139-2159.
- Sadok, W., Angevin, F., Bergez, J.-E., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., Reau, R., Messéan, A., Doré, T., 2009. MASC, a qualitative multi-attribute decision model for ex-ante assessment of the sustainability of cropping systems. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 447-461.
- Schils, R.L.M., de Haan, M.H.A., Hemmer, J.G.A., van den Pol-van Dasselaar, A., De Boer, J.A., Evers, A.G., Holshof, G., van Middelkoop, J.C., Zom, R.L.G., 2007. DairyWise, A Whole-Farm Dairy Model. *Journal of Dairy Science* 90, 5334-5346.
- Sebillotte, M., Soler, L.-G., 1990. Les processus de décision des agriculteurs: I. Acquis et questions vives, in: Brossier, J., Vissac, B., Le Moigne, J.L. (Eds.), *Modélisation systémique et systèmes agraires. Décision et organisation*. INRA, Paris, pp. 93-101.
- Shalloo, L., Dillon, P., Rath, M., Wallace, M., 2004. Description and validation of the Moorepark Dairy System Model. *Journal of Dairy Science* 87, 1945-1959.
- Silva, G.L.d., 2001. Viabilidade socioeconômica da reforma agrária: estudo de caso sobre o P.A. Renascer, Curso de Especialização e Extensão em Educação do Campo e Desenvolvimento Sustentável dos Assentamentos de Reforma Agrária. UnB (GTRA) / Embrapa Cerrados / INCRA / IICA, p. 88.
- Solagro, 2000. *Dialecte, Diagnostic Liant Environnement et Contrat Territorial d'Exploitation; manuel d'utilisation et logiciel*.
- Sraïri, M.T., Benhouda, H., Kuper, M., Le Gal, P.Y., 2009a. Effect of cattle management practices on raw milk quality on farms operating in a two-stage dairy chain. *Tropical Animal Health and Production* 41, 259-272.

- Sraïri, M.T., Rjafallah, M., Kuper, M., Le Gal, P.Y., 2009b. Water productivity through dual purpose (milk and meat) herds in the Tadla irrigation scheme, Morocco. *Irrigation and Drainage* 58, 334-345.
- Sraïri, T., 2001. Déterminisme et applications de la recherche systémique pour l'étude de l'élevage laitier. *Le Courrier de l'environnement* 42.
- Staal, S.J., Delgado, C.L., Nicholson, C., 1997. Smallholder dairying under transactions costs in East Africa. *World Development* 25, 779-794.
- Sulaiman, V.R., Hall, A., 2002. Beyond technology dissemination: reinventing agricultural extension. *Outlook on Agriculture* 31, 225-233.
- Suzuki, K., Kanameda, M., Ogawa, T., Nguyen, T.T.D., Dang, T.T.S., Luu, Q.H., Pfeiffer, D.U., 2006. Productivity and socio-economic profile of dairy cattle farmers amongst rural smallholder communities in northern Vietnam. *Livestock Science* 101, 242-250.
- Temu, M.H., Nzallawahe, T., Mdemu, S., J.M., T., 2007. The potential of participatory extension approaches in coffee rejuvenation - experience from Northern Tanzania, 21 st International Conference on Coffee Science, Montpellier, France, pp. 1162-1169.
- Théry, H., 2009. L'agriculture brésilienne en mouvement : performances et défis, Le Brésil, ferme du monde ? DGESCO - ENS Lyon - Géo-confluences.
- Thornton, P.K., Herrero, M., 2001. Integrated crop-livestock simulation models for scenario analysis and impact assessment. *Agricultural Systems* 70, 581-602.
- Tillard, E., Humblot, P., Faye, B., Lecomte, P., Dohoo, I., Bocquier, F., 2008. Postcalving factors affecting conception risk in Holstein dairy cows in tropical and sub-tropical conditions. *Theriogenology* 69, 443-457.
- Tittonell, P., van Wijk, M.T., Herrero, M., Rufino, M.C., de Ridder, N., Giller, K.E., 2009. Beyond resource constraints - Exploring the biophysical feasibility of options for the intensification of smallholder crop-livestock systems in Vihiga district, Kenya. *Agricultural Systems* 101, 1-19.
- Vall, E., Dugué, P., Blanchard, M., 2006. Le tissage des relations agriculture-élevage au fil du coton. *Cahiers Agricultures* 15, 72-79.
- van de Ven, G.W.J., van Keulen, H., 2007. A mathematical approach to comparing environmental and economic goals in dairy farming: Identifying strategic development options. *Agricultural Systems* 94, 231-246.
- Vayssières, J., 2008. Modélisation participative et Intégration des pratiques décisionnelles d'éleveurs dans un modèle global d'exploitation. Application à l'évaluation de la durabilité des élevages laitiers d'une île tropicale, Spécialité : Agro-zootecnie systémique et modélisation. SupAgro, Montpellier, p. 166.

Vayssières, J., Guerrin, F., Paillat, J.-M., Lecomte, P., 2009. GAMEDE: A global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises Part I - Whole-farm dynamic model. *Agricultural Systems* 101, 128-138.

Vayssières, J., Lecomte, P., Guerrin, F., Nidumolu, U.B., 2007. Modelling farmers' action: decision rules capture methodology and formalisation structure: a case of biomass flow operations in dairy farms of a tropical island. *animal* 1, 716-733.

Xavier, J.H.V., Oliveira, M.N.d., Almeida, S.C.R., Gastal, M.L., Rocha, F.E.C., Macena, F.A.d., Scopel, E., 2007. Adaptação e utilização de dispositivo metodológico participativo visando o desenvolvimento sustentável de assentamentos de reforma agrária, in: Tropical, E.A. (Ed.), VII Congresso Brasileiro de Sistemas de Produção: Agricultura Familiar, Políticas Públicas e Inclusão Social, Fortaleza.

Zoby, J.L.F., Xavier, J.H.V., Gastal, M.L., 2003. Transferência de tecnologia, agricultura familiar e desenvolvimento local : a experiência do Projeto Silvânia, Documentos, 101. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, p. 45.

The conception of innovative production systems in the context of dairy intensification – The case study of crop and livestock integrated farms in the agrarian reform settlements of the Municipal District of Unaí-MG, Brazil

Dairy farmers have to manage complex and mixed-farming systems. In the moving context of the agricultural sector, methods of conception of production systems must be renewed and fit the diversity of farmers conditions. The co-conception of production systems with farmers is the approach we want to defend. Whole-farm models help to picture the farming system's complexity but their use as advising services' tools raises questions in terms of model design choices. This PhD proposes an approach of advising services based on the use of a simulation whole-farm model to help farmers in designing their livestock strategies. The model design is based on the analysis of six dairy farms that constitute our study sample. We present three case-studies about the use of our model with dairy farmers. The case-studies give us insight about the capacity of the model's outcomes to generate debates with farmers about their own projects.

Keywords: smallholder farm, production system, model, simulation tool, advice, Brazil

Conception de systèmes de production innovants dans une dynamique d'intensification laitière - Cas des exploitations de polyculture-élevage relevant des périmètres de la réforme agraire dans le municpe d'Unaí-MG, Brésil

Les éleveurs laitiers gèrent des systèmes complexes combinant production animale et production végétale. Dans un contexte d'évolutions rapides, les démarches de conception de systèmes de production doivent être renouvelées, et répondre à la diversité des situations des exploitations agricoles. La co-conception de systèmes innovants avec les producteurs eux-mêmes se présente comme une démarche intéressante. Les modèles d'exploitation permettent de représenter la complexité du système, mais leur utilisation comme outil d'accompagnement interroge les choix de développement. Ce travail propose une démarche d'accompagnement basée sur l'utilisation d'un modèle de simulation pour appuyer les réflexions de l'éleveur sur ses stratégies d'élevage. Les choix de développement s'appuient sur l'analyse du fonctionnement d'un échantillon de six exploitations. Trois exemples d'utilisation du modèle avec les producteurs sont présentés. Ils montrent comment les résultats du modèle alimentent la discussion autour du projet de l'éleveur.

Mots-clés: petite exploitation, système de production, modèle, outil de simulation, conseil, Brésil