



**HAL**  
open science

# Adaptation of suckler cow farms to weather and beef price risks :Modelling approaches

Claire Mosnier

► **To cite this version:**

Claire Mosnier. Adaptation of suckler cow farms to weather and beef price risks :Modelling approaches. Sciences of the Universe [physics]. AgroParisTech, 2009. English. ⟨NNT : 2009AGPT0006⟩. ⟨pastel-00005178⟩

**HAL Id: pastel-00005178**

**<https://pastel.hal.science/pastel-00005178v1>**

Submitted on 16 Jun 2009

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

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



HAL Authorization



## THESE

Pour obtenir le grade de Docteur d'AgroParis Tech

Disciplines : Economie et Zootechnie

Présentée et soutenue publiquement par

Claire MOSNIER

Le 29 janvier 2009

# Adaptation des élevages de bovins allaitants aux aléas de prix et de climat : Approches par modélisation

*Adaptation of suckler cow farms to weather and beef price risks:  
modelling approaches*



**Directeurs de thèse :** Jean- Baptiste COULON et Alban THOMAS

**Encadrants :** Jacques AGABRIEL, Michel LHERM et Arnaud REYNAUD

### Jury

M. Jean LOSSOUARN	Professeur, AgroParis Tech	Président
M. François BOCQUIER	Professeur, Supagro Montpellier	Rapporteur
Mme Florence JACQUET	Directeur de recherche, INRA -Grignon	Rapporteur
Mme Maria BLANCO FONSECA	Chercheur, JRC – Commission Européenne, Séville	Examineur
Mme Christine FOURICHON	Enseignant-chercheur, ENV Nantes	Examineur
M Jacques AGABRIEL	Ingénieur de Recherche, INRA-Theix	Encadrant
M. Arnaud REYNAUD	Directeur de Recherche, INRA-Toulouse	Encadrant



## Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu mes encadrants et directeurs de thèse qui m'ont tous fait confiance. Merci de la grande liberté que vous m'avez laissée pour réaliser ce travail, tout en restant à l'écoute et en veillant à ce que cette thèse se déroule dans de bonnes conditions.

Merci à Jacques, qui fut mon interlocuteur privilégié. J'ai apprécié l'effort que tu as fait pour comprendre les concepts économiques. Merci pour ton soutien au quotidien et tes remarques judicieuses.

Merci Michel pour m'avoir toujours transmis les données dont j'avais besoin en un temps record. Tes connaissances des élevages de bovins allaitants m'ont aidée à mieux comprendre le contexte de cette production et à mieux interpréter mes résultats. J'en profite pour remercier également Didier Bébin et Patrick Veysset qui consacrent beaucoup de leur temps à la mise à jour de la base de données 'charolais'.

Merci Arnaud de m'avoir mise sur les rails de la modélisation dynamique. Peu importe si tu n'as pas beaucoup pu suivre la fin de cette thèse, l'essentiel étant qu'on ait pu en dessiner les grands contours ensemble.

Merci à Alban qui n'a pas eu peur de lancer dans la construction d'un modèle économétrique complexe quelque un dont les connaissances en économétrie étaient presque inexistantes. Je te remercie pour ton implication dans cet article qui, je l'espère, va aboutir très prochainement.

Merci également à Jean-Baptiste qui s'est inquiété de l'avancée de mon travail et m'a donné de bons conseils lorsque j'en avais besoin.

Je remercie René Baumont, Jean-Yves Dourmad, Stéphane Ingrand, Etienne Josien et Aude Ridier, qui ont accepté de suivre ce travail dans le cadre du comité de thèse. Les échanges que nous avons eus ont toujours été très intéressants.

Merci à Magali Jouven qui a réécrit une version excel du module de végétation du modèle SEBIEN et qui me l'a confiée.

Merci à Aude qui m'a initiée à la modélisation pendant mon mémoire de DEA et qui m'a encouragée à entreprendre cette thèse. Je remercie plus généralement mes professeurs de l'Agro Montpellier et du DEA EGDAAR pour la qualité de leurs enseignements, ainsi que l'école doctorale ABIES qui sait être arrangeante.

Je remercie les deux rapporteurs de cette thèse qui ont accepté la charge de travail qui leur incombe. Merci également aux autres membres du jury. J'espère que la lecture de ce document ne vous ennuiera pas et donnera lieu à de riches discussions.

Merci Cyril pour avoir contribué à l'amélioration de certaines de mes présentations aux congrès et pour avoir fait une première lecture critique de cette thèse. Merci également à ma mère qui a corrigé les fautes d'orthographe de ce manuscrit. Anne, je te suis très redevable du sérieux coup de main que tu m'as donné sur la fin de cette thèse pour la relecture et la mise en pages de ce manuscrit.

Si cette thèse s'est aussi bien passée, c'est aussi grâce à mes collègues des équipes de SP, du LEE ainsi qu'à tous ceux qui partagent la pause café avec nous, c'est plus particulièrement grâce à Florence qui a agréablement partagé mon bureau pendant ces trois ans et m'a aidée lorsque j'en avais besoin. Je n'oublie pas mes collègues de badminton de l'INRA avec qui nous passons d'excellentes pauses de midi à taper dans les volants.

Je remercie ma famille pour son soutien, pour l'équilibre qu'elle m'apporte et pour les bons petits plats qu'elle me confectionne. Bien sûr, je n'oublie pas Cyril et mes amis grâce auxquels je me sens bien dans ma vie.

Je souhaite aujourd'hui beaucoup de réussite à Gwénaëlle, Laurianne et Nejla qui terminent bientôt leur thèse, et à ma sœur qui vient de se lancer dans l'aventure.

Mes pensées vont également aux éleveurs qui traversent une passe difficile en ce moment.

Enfin, je dédicace cette thèse à Lucile, ma petite nièce, qui vient de naître alors même que je suis en train d'écrire ces remerciements.

## **Valorisation du travail de thèse**

### ▪ **Publications originales dans des revues à comité de lecture**

- 1/ Mosnier C., Thomas A., Reynaud A., Lherm M., Agabriel J. (XX), Estimating a production function under production and output price risks: An application to beef cattle in France, *Soumis à: American Journal of Agricultural Economics*

- 2/ Mosnier C., Agabriel J., Lherm M., Reynaud A. (XX), A dynamic bio-economic model to simulate optimal adjustments of suckler cow farm management to production and markets shocks I. Model description and model behaviour

*Soumis à: Agricultural Systems*

- 3/ Mosnier C., Agabriel J., Lherm M., Reynaud A. (XX), A dynamic bio-economic model to simulate optimal adjustments of suckler cow farm management to production and markets shocks II. Model evaluation and application

*Soumis à: Agricultural Systems*

- 4/ Mosnier C., Agabriel J., Lherm M., Reynaud A. (XX), Impact of successive weather shocks on technical and economical results of a French suckler cow farm: A recursive discrete stochastic programming approach

*En cours*

### ▪ **Publication de transfert dans des revues à comité de lecture**

- Mosnier C., Agabriel J., Lherm M., Reynaud, A. (2008) Un modèle bioéconomique pour évaluer l'impact des aléas climatiques sur l'ajustement des décisions de production et sur les résultats des exploitations de bovins allaitants, *Rencontres Recherches Ruminants, in press*

### ▪ **Publications originales dans des congrès**

1/ Mosnier C., Thomas A., Reynaud A., Lherm M., Agabriel J. (2007). Estimating a production function under production and price risks: an application to the suckler cow farms in the French charolais production area, 101ème séminaire de l'EAAE, (Berlin, Allemagne),

2/ Mosnier C., Agabriel J., Lherm M., Reynaud A. (2008). A recursive dynamic optimization model to assess the impact of unexpected changes on suckler cow farms, 8ème symposium européen de l'IFSA (Clermont-Ferrand, France)

- 3/ Mosnier C., Agabriel J., Lherm M., Reynaud A. (2008). Assessing economic and technical impacts of weather events on French suckler cow farms dynamics: a dynamic recursive farm model, 59<sup>ème</sup> rencontre de l'EAAP (Vilnius, Lituanie)
- 4/ Mosnier C., Agabriel J., Lherm M., Reynaud A. (2008). Assessing economic and technical impacts of weather events on French suckler cow farms dynamics: a dynamic recursive farm model, 12<sup>ème</sup> congrès de l'EAAE (Gand, Belgique)
- 5/ Mosnier C., Agabriel J., Lherm, M., Reynaud A. (2008). A dynamic bioeconomic model to simulate optimal adjustments of suckler cow farm's management to crop production and market shocks, 2<sup>ème</sup> journées de recherche en sciences sociales, (Lille, France)
- 6/ Mosnier C., Thomas A., Reynaud A., Lherm M., Agabriel J. (2008). Estimating a production function under production and output price risks: An application to beef cattle in France, 2<sup>ème</sup> journées de recherche en sciences sociales, (Lille, France)
- 7/ Mosnier C., Agabriel J., Lherm M., Reynaud A. (2009). Dynamics of suckler cow farms under stochastic crop yields: A recursive discrete stochastic programming approach, conférence AgSAP (Egmond aan Zee, Pays-Bas)

## Sommaire général:

### **I. Positionnement du sujet et de la démarche scientifique**

1. Les élevages de bovins allaitants et les aléas de prix et de climat : définition du sujet de recherche	1
2. Analyse bibliographique des modèles économiques existants permettant d'évaluer l'impact des aléas sur les exploitations	15
3. Objectifs de la thèse et démarche adoptée dans le travail de recherche	30

### **II. Analyse d'un panel de données technico-économiques d'exploitations de bovins allaitants du bassin Charolais**

1. Analyse descriptive du panel de données et des corrélations entre aléas et variables technico-économiques	37
2. Estimation économétrique d'une fonction de production et de l'attitude des éleveurs vis-à-vis des risques de prix et de production (Article 1)	61

### **III. Construction d'un modèle d'exploitation de bovins allaitants et simulation des impacts des aléas**

1. Un modèle bioéconomique pour simuler les ajustements optimaux aux aléas de prix et de production végétale	
1.1. Description du modèle et de son comportement (Article 2)	81
1.2. Évaluation du modèle et application (Article 3)	111
2. Simulation de l'impact d'une séquence d'aléas climatiques sur la production et les résultats économiques d'une exploitation de bovins allaitants : un modèle dynamique récursif stochastique discret (Article 4)	127

### **IV. Discussion**

1. Quels sont les leviers d'ajustement préférés et préférables pour faire face aux aléas de prix et de climat?	15251
2. Quels sont les impacts de l'anticipation des risques sur les décisions des éleveurs?	157
3. Quels sont les impacts des aléas de prix et de climat sur les résultats économiques ?	162
4. Les apports méthodologiques de la thèse	165

### **V. Conclusions et perspectives** 171

### **Bibliographie** 175

### **Tables des figures**

### **Annexes**



## Liste des abréviations

<b>ANOVA</b>	Analyse de variance
<b>CAH :</b>	Classification Ascendante Hiérarchique
<b>CARA :</b>	Aversion absolue au risque constante
<b>CRRA :</b>	Aversion relative au risque constante
<b>DARA :</b>	Aversion absolue au risque décroissante
<b>DRRA :</b>	Aversion relative au risque décroissante
<b>DSP :</b>	Modèle en Programmation dynamique Stochastique Discrète
<b>ESB :</b>	Encéphalopathie Spongiforme Bovine
<b>FAO :</b>	Organisation pour l'Agriculture et l'Alimentation
<b>FNGCA :</b>	Fond National de Garantie des Calamités Agricoles
<b>GMQ</b>	Gain Moyen Quotidien
<b>Ha :</b>	Hectare
<b>IARA :</b>	Aversion absolue au risque croissante
<b>ICHN :</b>	Indemnité Compensatoire de Handicaps Naturels
<b>INRA :</b>	Institut National de la Recherche en Agronomie
<b>IRRA :</b>	Aversion relative au risque croissante
<b>Kg :</b>	Kilogramme
<b>LEE :</b>	Laboratoire d'Economie et de l'Elevage
<b>MB :</b>	Marge Brute
<b>OTEX :</b>	Orientation Technico-économique d'Exploitation
<b>PAC :</b>	Politique Agricole Commune
<b>PMTVA :</b>	Primes au Maintien des Troupeaux de Vaches Allaitantes
<b>PV :</b>	Poids vif
<b>RICA :</b>	Réseau d'Information Comptable Agricole
<b>RWC :</b>	revenu du travail et des capitaux propres d'exploitation
<b>SAU :</b>	Surface Agricole Utile
<b>SCEES :</b>	Service Central des Enquêtes et Études Statistiques
<b>SDP :</b>	Modèle en Programmation Dynamique Stochastique
<b>SFP :</b>	Surface Fourragère Principale
<b>STH :</b>	Surface Toujours en Herbe
<b>UE :</b>	Union Européenne
<b>UE</b>	Unités d'Encombrement
<b>UF :</b>	Unités Fourragères
<b>UGB :</b>	Unité Gros Bovin
<b>UTH :</b>	Unité Travail Humain



## **Préambule**

Pour réaliser cette thèse, j'ai été recrutée le 1<sup>er</sup> décembre 2008 sur un contrat d'Assistant Contractuel Scientifique (ASC) entièrement financé par l'Institut National de la Recherche en Agronomie (INRA). La campagne de recrutement 2005 était sur des approches interdisciplinaires sciences sociales/ sciences biotechniques.

Cette thèse est ainsi le fruit d'une collaboration entre deux départements de recherches de l'INRA : le département de Physiologie Animale et Systèmes d'Élevage (PHASE) et le département Sciences Sociales, Alimentation et Agriculture, Espace et Environnement (SAE2). Cette thèse a été dirigée par les deux directeurs adjoints de ces départements : Alban Thomas pour SAE2 et Jean-Baptiste Coulon pour PHASE. Elle a été encadrée au sein du département PHASE, à Theix, par Jacques Agabriel ingénieur de recherches de l'Unité de Recherche sur les Herbivores (URH), équipe Système de Production (SP), et au sein du département SAE2 par Michel Lherm ingénieur de recherche au Laboratoire d'Économie de l'Élevage (LEE) de Theix (future équipe « Économie et Gestion des Exploitations d'Élevage » de l'URH) et par Arnaud Reynaud directeur de recherche au Laboratoire d'Économie des Ressources Naturelles (LERNA) de Toulouse (Toulouse School of Economics).



# *Partie 1 :*

---

## *Positionnement du sujet et de la démarche scientifique*

---

### *Table des matières de la partie 1*

---

<i>1. Les élevages de bovins allaitants et les aléas de prix et de climat : définition du sujet de recherche</i>	<i>1</i>
1.1. L'élevage de bovins allaitants en France et en Europe	1
1.2. Les aléas de prix et de climat : des risques majeurs pour les exploitations de bovins allaitants	7
1.3. Conclusion : Importance de l'estimation des impacts des aléas de prix et de climat pour la gestion des risques en élevage	14
<i>2. Analyse bibliographique des modèles économiques existants permettant d'évaluer l'impact des aléas sur les exploitations</i>	<i>15</i>
2.1. Quelques notions économiques utiles pour comprendre ces modèles	16
2.2. Les modèles économétriques de production	18
2.3. Les modèles en programmation mathématique	21
<i>3. Objectifs de la thèse et démarche adoptée dans le travail de recherche</i>	<i>30</i>
3.1. Les objectifs de la thèse	30
3.2. La démarche adoptée dans le travail de recherche	32
3.3. Organisation du manuscrit de thèse	34



# **1. Les élevages de bovins allaitants et les aléas de prix et de climat : définition du sujet de recherche**

## **1.1. L'élevage de bovins allaitants en France et en Europe**

Nous proposons dans cette partie de présenter les exploitations de bovins allaitants. Nous commencerons par décrire quelles sont les principales caractéristiques de ces systèmes de production. Un point sera fait ensuite sur l'importance de cette production en France et en Europe. Les autres fonctions (environnementale et sociale) de ces élevages seront ensuite brièvement exposées.

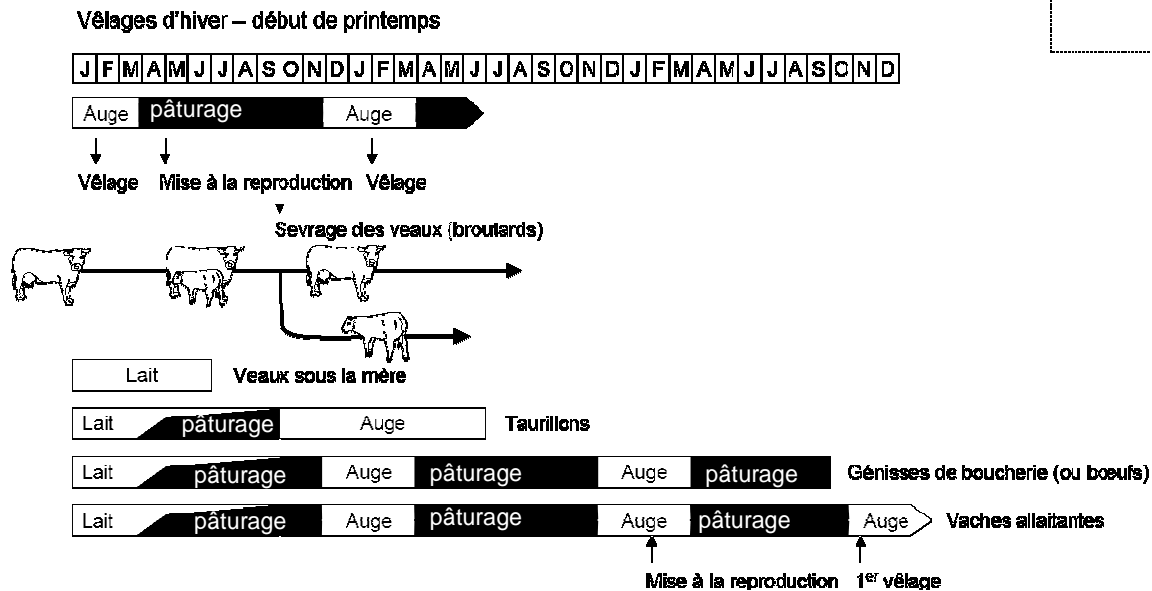
### *1.1.1. Caractéristiques des exploitations spécialisées dans l'élevage de bovins allaitants*

Contrairement aux élevages laitiers pour lesquels la viande est un sous-produit du lait, les élevages de bovins allaitants ont pour objectif la production de viande à partir d'un troupeau de vaches 'allaitantes'. Selon les définitions, la vache allaitante se définit comme « toute vache qui allaite son veau » (définition adoptée par Réseau d'Information Comptable Agricole et le Service Central des Enquêtes et Études Statistiques), ou « comme une vache de race à viande qui élève son veau » (Normand, 2006). Les génisses allaitantes vèlent généralement pour la première fois vers trois ans même s'il existe quelques systèmes ayant adopté un vêlage à 2 ans. La phase de production de la vache allaitante est ensuite constituée d'une succession de cycles de production annuels : les vaches produisent environ un veau par an qu'elles allaitent pendant 5 à 10 mois et, deux ou trois mois après le vêlage, les vaches entrent de nouveau en gestation pour 9 mois (Normand, 2006, Figure 1). Au maximum de la courbe de lactation, qui est assez aplatie chez les vaches allaitantes, une vache produit environ 8 à 9 litres de lait contre environ 30 litres pour une vache laitière.

Les veaux sont nourris avec le lait de leur mère jusqu'au sevrage. Pendant cette période, ils boivent environ 1500 litres de lait. Les éleveurs complètent cette alimentation avec de l'herbe au pâturage, du foin si nécessaire et de plus en plus souvent avec de l'aliment concentré (céréales) dans le but d'accélérer leur croissance. Après le sevrage, ces veaux ont différentes destinations possibles en fonction de leur sexe, de leur âge et de leur mode d'alimentation (Liénard et Lherm, 1986). Ils peuvent ainsi être vendus « maigres » pour être engraisés dans d'autres exploitations, vendus « gras » (ou « engraisés ») lorsqu'ils sont prêts à la consommation ou encore gardés sur l'exploitation afin d'assurer le renouvellement du troupeau (cas des génisses). Dans le cas des bovins mâles, les veaux de boucherie correspondent à des jeunes âgés de 4 mois environ élevés uniquement avec le lait de leur mère ; les brotard(e)s maigres sont vendus entre 8 à 13 mois généralement après la mise à l'herbe. Entre l'âge de un an et demi et deux ans, les mâles non castrés vendus sont appelés « taurillons » ou « jeunes bovins ». Selon leur alimentation et leur degré d'engraissement ils sont considérés comme taurillons 'maigres' ou 'gras'. Les mâles castrés (les bœufs) sont prêts à la consommation vers l'âge de

3 ans. Les mâles non castrés avec un bon potentiel génétique peuvent être vendus en tant que taureaux reproducteurs. En ce qui concerne les femelles de plus d'un an, elles peuvent être vendues en maigres ou engraisées (généralement après 30 mois) jusqu'à ce qu'elles soient réformées. Les ventes de femelles concernent cependant principalement les vaches de réforme.

Figure 1: Exemple de cycle de production de la vache allaitante



Source : Normand, 2006

L'alimentation du troupeau de bovins allaitants repose sur la valorisation des surfaces herbagères : les prairies sont pâturées du début du printemps à la fin de l'automne. Une vache pâture plus de 10 kg de matière sèche d'herbe par jour, un veau mâle avant sevrage environ 4 kg. L'excédent d'herbe (souvent à la fin du printemps) est récolté pour être conservé sous forme de foin, d'ensilage ou d'enrubannage en vue de nourrir les animaux pendant l'hiver 'à l'auge'. Bien que les pratiques soient hétérogènes d'une exploitation à l'autre, le pâturage a globalement une place deux fois plus importante dans l'alimentation des troupeaux allaitants que dans celle des troupeaux laitiers (Normand, 2006). En complément de l'herbe récoltée, d'autres types d'aliments peuvent être apportés : maïs ensilage, céréales, paille et autres aliments du commerce, concentrés en énergie ou en azote (tourteaux). L'intérêt pour les éleveurs est souvent de mettre à profit les ressources dont ils disposent afin de limiter les achats (Lherm et Benoit, 2003).

Les exploitations spécialisées dans la production de viande, c'est-à-dire celles qui tirent plus des deux tiers de leur revenu de la vente de bovins viandes, ont des structures légèrement plus grandes que les exploitations spécialisées en bovins lait (88 ha contre 70 ha ; source RICA 2006) et un chargement légèrement inférieur (1,3 UGB /ha SFP contre 1,4 UGB/ ha de SFP en bovin lait ; RICA 2006). Le niveau de revenu moyen de ces éleveurs est moindre que celui des producteurs de grandes cultures et de vins AOC mais est globalement dans la moyenne des autres Orientation Technique et

EXploitation (OTEX ; Tableau 1). Les exploitations spécialisées dans les productions d’ovins et de caprins sont celles tirant le plus faible revenu de leur activité. Les statistiques nationales de 2007 et 2008 ne sont pas encore disponibles. Étant donnée la forte augmentation du prix des céréales en 2007 et la fièvre catarrhale ovine qui a touché les troupeaux ovins et bovins en 2007 et 2008, il est fort probable que l’écart se soit creusé entre les exploitations spécialisées dans les productions végétales et celles spécialisées dans les productions animales.

Tableau 1 : Revenu courant avant impôt par travailleur non salarié selon les OTEX (en k€/an/UTA)

vins AOC	Marâtchage	grandes cultures	Bovin viande	fruits	Granivore	Bovin mixte	polyculture élevage	Bovins lait	vins non AOC	Horticulture	Ovin caprin
36,6	22,7	22,3	19,8	19,3	18,8	18,7	17,5	16,9	16,8	15,3	13,0

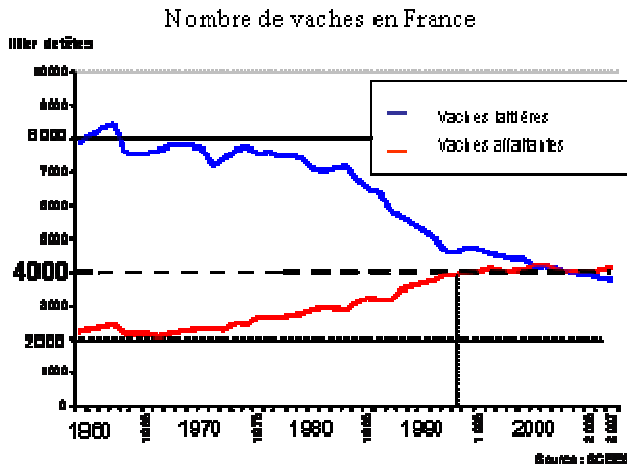
Source : RICA (2008), moyenne sur les années 2002-2006

#### 1.1.2. La production de bovins allaitants en Europe et en France

Les élevages de bovins allaitants sont apparus après la seconde guerre mondiale en France lorsque des rameaux de certaines races utilisées pour la traction animale ont commencé à être sélectionnées pour leur viande. Ils se sont véritablement développés à partir de 1984, lorsque les quotas laitiers ont été instaurés. La limitation de la production laitière et l’augmentation de la productivité par vache se sont traduites par une réduction du nombre de vaches laitières. Cette baisse du cheptel laitier a alors favorisé l’essor du cheptel allaitant qui s’est développé pour satisfaire la demande en viande et valoriser les surfaces fourragères libérées par les vaches laitières. Entre 1987 et 2005 le nombre de vaches allaitantes a augmenté de 54% dans l’Union Européenne à 15 (Figure 2; Guesdon et al., 2006). En 2000, l’ensemble du troupeau allaitant comprenait 4,3 millions de vaches nourrices (Agreste Primeur, 2002) en France. La production de viande issue des troupeaux allaitant couvrait environ 50% de la production de viande consommée en France (les élevages laitier couvrent une grande partie de cette des 50% restant). Elle contribuait fortement à l’excédent de la balance commerciale de viande bovine (environ un milliard d’euros ; Ofival, 2005). Le principal ‘client’ de la France est l’Italie vers qui elle exporte la plupart des brouards mâles (Figure 3) : les consommateurs italiens préfèrent la viande de bovins mâles non castrés alors que les français consomment essentiellement des génisses et des vaches de réforme. Aujourd’hui, la France a le premier cheptel européen soit près d’un tiers des vaches allaitantes européennes. Les autres cheptels européens importants sont en Irlande, au Royaume-Uni et en Espagne (Figure 4). C’est également le premier

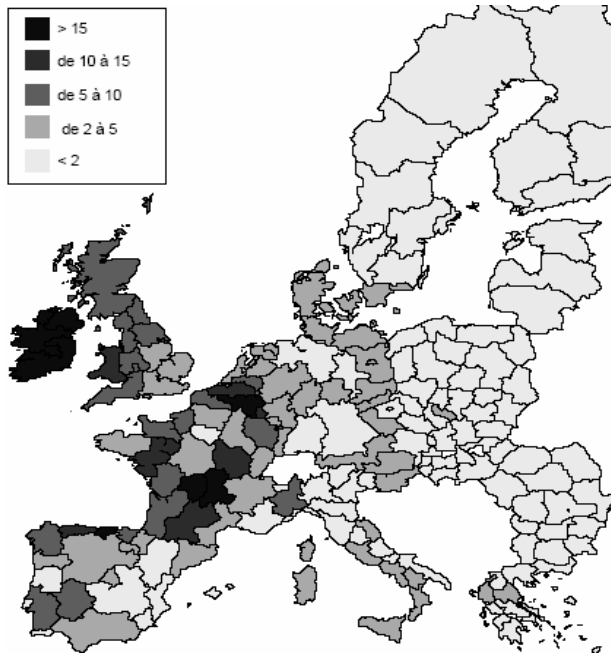
producteur de viande bovine (la viande bovine provient également des troupeaux laitiers) derrière l'Allemagne et l'Italie (tableau 1).

Figure 2 : Un cheptel allaitant qui arrive au niveau du cheptel laitier

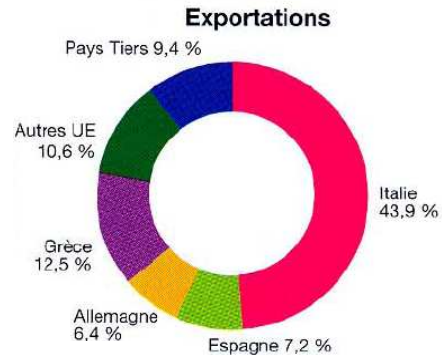


Source : SCEES

Figure 4: Nombre vache allaitante en 2003 par km<sup>2</sup>



Source : Institut de l'Élevage, d'après Eurostat, Guesdon et al., 2006



Source : douanes françaises 2004

Tableau 2: Poids des principaux pays dans la production communautaire (UE-25) de viande en 2005

	Poids
France	24 (1/4)
Allemagne	18
Italie	12
Royaume-Uni	9
Espagne	9
Irlande	8
Pays-Bas	5
Belgique	4
%UE-25	80%

Source : Eurostat, 2005, Guesdon et al., 2006

Les 4,3 millions de vaches françaises se répartissent essentiellement entre deux grandes races : la race Charolaise (44 % des effectifs) et la race Limousine (27%). Les autres races fréquemment rencontrées sont la Blonde d'Aquitaine, la Salers et l'Aubrac (Figure 6). Environ 80% de ces vaches sont concentrées dans près de 100 000 exploitations spécialisées en Bovins viande (Normand, 2006). Ces élevages (Figure 5) se répartissent entre quatre zones principales (Normand, 2006):

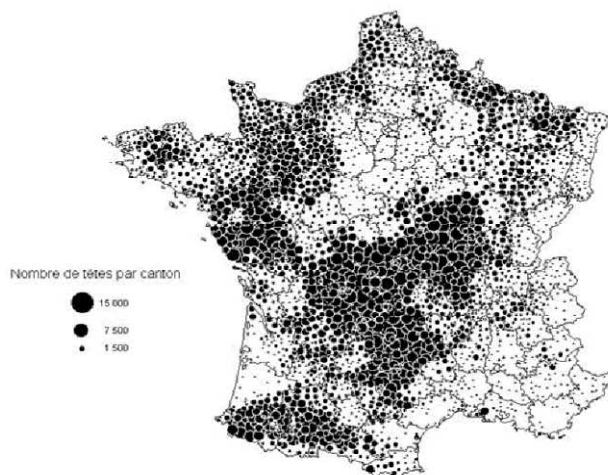
- Le bassin allaitant traditionnel du centre de la France regroupe environ 45 000 exploitations allaitantes. Au Nord du bassin allaitant, c'est la race Charolaise qui domine avec des systèmes produisant principalement des mâles maigres repoussés de quelques mois après le sevrage. À l'ouest, la race Limousine est largement répandue et les mâles sont plus fréquemment finis. Au sud, les races rustiques Salers et Aubrac, souvent croisées avec des taureaux Charolais, sont utilisées pour la production de mâles maigres. Enfin, la blonde d'aquitaine est très présente dans le Tarn et le sud de l'Aveyron où la plupart des veaux sont finis sous la mère.

- Les pays de Loire et les Deux-Sèvres comptent 7000 exploitations. Elles produisent essentiellement des taurillons gras de race Charolaise, Limousine et surtout Blonde d'Aquitaine.

- Les Pyrénées et leur piémont recensent 9000 exploitations. Elles sont spécialisées dans la production de brouillards légers ou de veaux de boucherie de race Blonde d'Aquitaine et Gasconne.

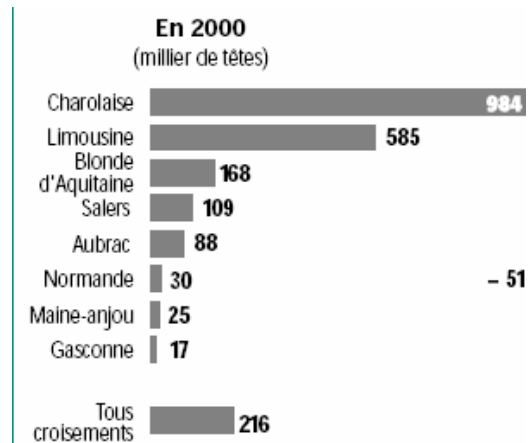
- La Normandie et Mayenne regroupent environ 10 000 exploitations. Ces exploitations sont généralement de petite taille et produisent des brouillards ou engraisent des bœufs.

*Figure 5 : Effectif de vaches allaitantes par canton en 2000*



Source : recensement agricole 2000, cartographie : institut de l'élevage

*Figure 6 : Effectifs des principales races dans les élevages spécialisés en viande bovine.*



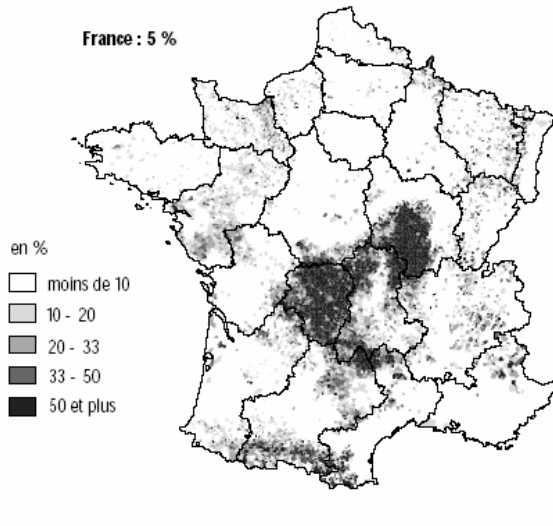
Source : recensement agricole 2000, Agreste, 2005

### *1.1.3. Des exploitations entretenant les prairies et participant à l'aménagement du territoire*

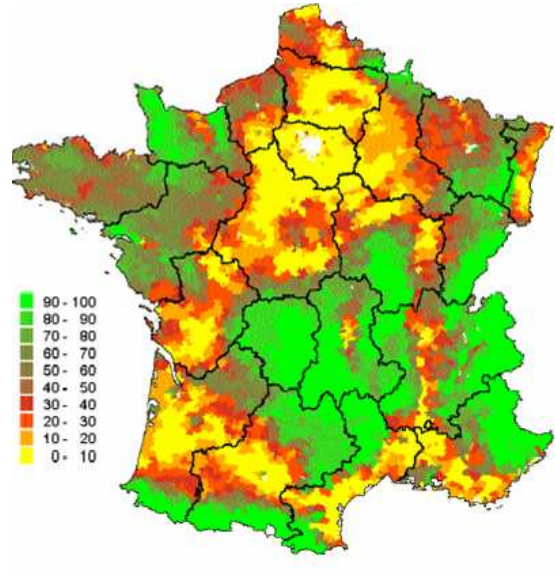
La plupart des exploitations de bovins allaitants sont localisées dans des zones peu favorables aux grandes cultures et dans des zones où l'activité économique locale s'articule essentiellement autour de l'élevage (Figure 7). Ces exploitations entretiennent et valorisent un large territoire (Figure 8 ; Chatellier et Vérité, 2003), notamment les surfaces toujours en herbe qui représentent 36% de la

SAU et ne peuvent être en général utilisées que par les herbivores. Une régression de ces exploitations pourrait entraîner une déprise agricole et une déstabilisation de l'économie locale (Jambou et al., 2001).

*Figure 7 : Part des élevages spécialisés en viande bovine dans la dimension économique par commune 2000 en 2000*



Source : Agreste Primeur, 2002 (recensement Agricole 2000)



Source : Institut de l'élevage, 2000 (recensement Agricole 2000)

La part des prairies dans la surface fourragère<sup>1</sup> (93%) est élevée par rapport aux autres systèmes tels que les bovins laits (76%) (Normand, 2006). Le rôle environnemental de ces prairies est manifeste (Le Goffe, 2003). Elles concentrent une biodiversité faunistique et floristique importante, bien que cette dernière soit étroitement liée avec les pratiques d'élevage et la situation géographique des prairies (Dumont et al., 2007). Elles contribuent à la lutte contre l'érosion et à la régularisation du régime des eaux, à la qualité de l'eau par l'épuration des fertilisants et des pesticides (raisons pour lesquelles les bandes enherbées ont été imposées le long des cours d'eau). Elles participent à la réduction de l'effet de serre par séquestration du carbone (Soussana et al., 2004). Elles ont également des fonctions esthétiques et véhiculent une image positive auprès des consommateurs (Micol et al., 2002 ; Jambou et al., 2001). Le rapport de la FAO (2006) souligne néanmoins les impacts négatifs de ces élevages au niveau mondial : ils contribuent aux effets de serre par les rejets de méthane dû aux processus de dégradation des aliments dans le rumen et par la déforestation qui sévit notamment en Amérique Latine où les zones d'élevage empiètent progressivement sur les forêts.

<sup>1</sup> Les surfaces fourragères comprennent principalement les prairies permanentes et temporaires et le maïs fourrager

## **1.2. Les aléas de prix et de climat : des risques majeurs pour les exploitations de bovins allaitants**

Selon Antle (1983c), il existe un risque pour l'agriculteur lorsque la présence de composantes aléatoires l'empêche de prédire avec certitude quelles seront les conséquences de ses décisions : il peut tout au plus probabiliser les résultats escomptés. Nous considérons ici qu'un aléa est une variable aléatoire, comme par exemple « le prix », qui est caractérisée par des événements tels que « les prix sont élevés » ou « les prix sont bas ». L'aléa peut donc être favorable ou défavorable. Le risque, lui, correspond à l'anticipation des différents états que l'aléa peut prendre et des probabilités qui lui sont associées : l'éleveur aura des risques de pertes associés à un événement défavorable et des risques de gains associés à un événement favorable. La gestion du risque vise à assurer la pérennité de l'exploitation, en protégeant et en améliorant de manière rentable et durable son potentiel de revenu. Elle comporte deux phases : la première consiste à anticiper et à prévenir les risques avant que l'aléa ne se produise, la seconde à minimiser les pertes ou à maximiser les gains une fois que l'aléa s'est réalisé. Ces deux phases sont liées dans la mesure où une bonne prévention des risques donne une plus grande flexibilité à l'éleveur pour s'adapter aux aléas. La flexibilité est définie par Ingrand et al., (2004) comme la capacité du système d'élevage à s'ajuster à court terme dans une large gamme de contraintes économiques, techniques, commerciales et climatiques tout en permettant la réalisation du projet de production de l'éleveur à moyen et à long termes.

Cordier et al., (2008) distinguent cinq catégories de risque pour l'entreprise agricole : 1/les risques climatique et sanitaire qui affectent les quantités produites et leurs qualités, 2/le risque de prix ou de marché qui joue sur le prix des intrants et des produits finis, 3/le risque institutionnel généré par les changements de politiques ou de régulation, 4/le risque financier lié aux variations de taux d'intérêt et des taux de change et 5/ les risques humains et professionnels. Si les deux derniers sont communs à toutes les entreprises, les trois premiers sont plus spécifiques des exploitations agricoles en général et des exploitations de bovins allaitants en particulier.

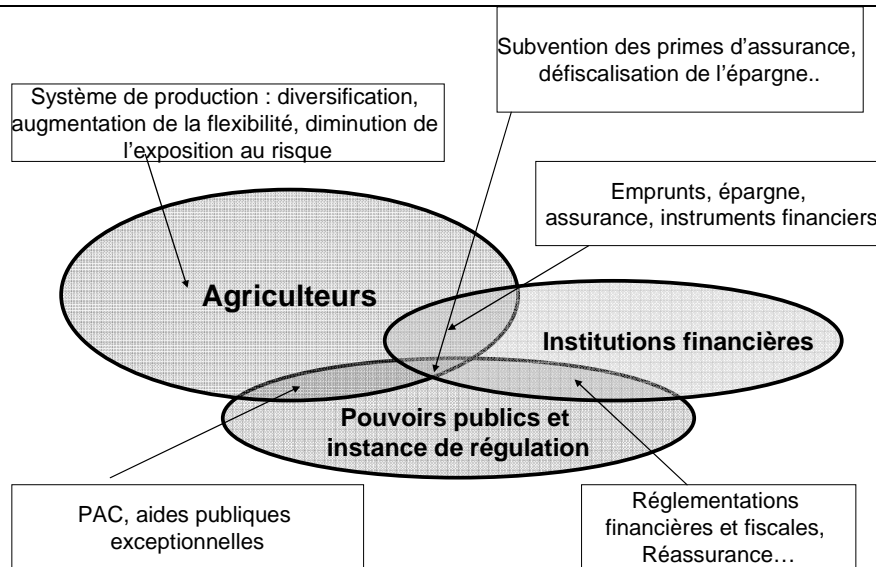
Dans cette partie, après avoir resitué le rôle des différents acteurs de la gestion des risques en élevage, nous exposerons les caractéristiques des principaux aléas auxquels doivent faire face les éleveurs et les leviers dont ils disposent pour y faire face.

### *1.2.1. La gestion des risques en élevage : les différents acteurs concernés*

Trois types d'acteurs sont impliqués dans la gestion des risques : les agriculteurs (leurs organisations, leurs fournisseurs techniques..), les institutions financières (banques, assurances, réassurances), et, les pouvoirs publics et les instances de régulation (région, état, Union Européenne...) (SAF, 2002 ; Figure 9). Les instituts de recherche et de développement viennent en appui à ces différents acteurs à différents niveaux : production de connaissances sur les aléas et sur la

réponse des animaux, des végétaux et des éleveurs à ces aléas ; proposition d'innovations techniques ; évaluation de l'efficacité du dispositif de gestion des risques au niveau national etc.

*Figure 9 : Les acteurs de la gestion des risques*



*Source : d'après SAF, 2002*

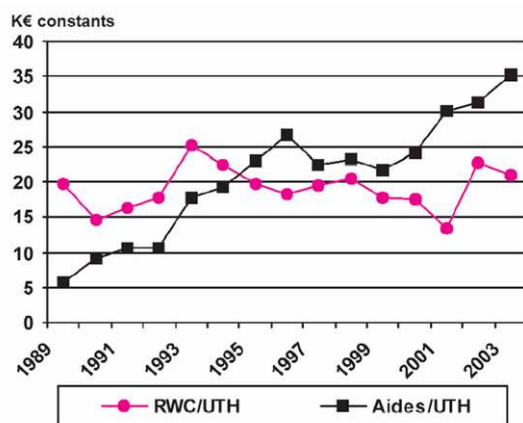
L'éleveur est l'acteur central. Pour gérer les risques il peut réduire son exposition aux risques afin que sa production soit moins sensible aux aléas, diversifier ses activités de façon à ce que toutes ses productions n'aient pas la même sensibilité aux aléas ou jouer sur la flexibilité de son système pour pouvoir mieux s'adapter aux aléas. Au niveau financier, l'éleveur peut constituer une épargne de précaution qu'il créditera ou débitera en fonction des aléas. Il a également la possibilité de céder certains risques à des tiers : aux banques dans la mesure où ces dernières leur proposent des crédits, aux assurances qui s'engagent à les indemniser en cas de sinistres ou aux marchés financiers qui leurs garantissent un certain niveau de prix.

Les pouvoirs publics interviennent à différents niveaux pour encadrer les risques en élevage. Ils incitent par exemple les éleveurs à constituer une épargne de précaution par le biais des Déductions Pour Aléas qui sont défiscalisées et leurs assurent des filets de sécurité. Ils peuvent également encourager les assurances à développer certains produits en subventionnant les primes d'assurance aux agriculteurs ou en leur facilitant l'accès aux marchés financiers. Dans certains cas, le risque est diminué à sa source : les risques de prix sont ainsi réduits par les mécanismes de prix garantis et de protection aux frontières dans l'Union Européenne. Les aides directes à la production octroyées par le premier pilier de la Politique Agricole Commune (PAC) jouent également un rôle d'assurance (Hennessy, 1998).

### 1.2.2. Les aléas liés à l'avenir de l'attribution des aides de la Politique Agricole Commune

La PAC a connu trois réformes majeures entre 1987 et 2007 : la réforme Mac Sharry en 1992, la réforme d'Agenda 2000 en 1999 et la réforme à mi-parcours ou réforme du Luxembourg en 2003. A partir de 1992, le principe d'une politique de prix intérieurs élevés et de protection aux frontières est remplacé par celui de prix intérieurs bas et de paiements compensatoires. Les objectifs sont de réduire la surproduction et les dérives budgétaires, de respecter les principes de l'Organisation Mondiale du Commerce (diminuer les effets distorsifs des aides) et de mieux prendre en compte les aspects environnementaux et sociaux grâce à la mise en place notamment du second pilier de la PAC en 1999. Le prix d'intervention sur le marché de la viande bovine (prix plancher) a baissé progressivement. Une première baisse des prix garantis de 15% a eu lieu entre 1992 et 1995. L'Agenda 2000 institua une nouvelle baisse des prix de la viande bovine de 20%, étalée sur trois ans. Cette baisse des prix garantis fut compensée partiellement par l'attribution d'aides directes dont la nature, le montant et les conditions d'éligibilité ont largement évolué.

Figure 10 : Évolution du revenu (RWC) et des aides par travailleur (UTH) en élevage de bovin allaitant



Source : Veysset et al., 2005b

Les exploitations de bovins allaitants sont fortement soutenues par la Politique Agricole Commune (PAC) et ce depuis 1967 avec la création de l'Organisation Commune de Marché pour la viande et le lait. En 2000, 139% du revenu moyen des exploitations provenait des aides européennes (Veysset et al., 2005b ; Figure 10). Une modification des montants d'aide ou de leur mode d'allocations a eu de fortes répercussions sur les choix de production et sur les revenus : les éleveurs adaptent leur système de production de façon à optimiser les primes reçues et à se mettre en

accord avec les réglementations (Veysset et al., 2005a ; Ridier, 2001 ; Crosson 2005, etc.).

L'évolution de la PAC après 2013 est une réelle source d'incertitude à moyen et à long termes. Dans la prospective 2013 de l'INRA (Guyomard et al., 2007), les scénarios probables étudiés sont : 1) le statu quo, 2) le découplage total de la PAC, une régionalisation et une mutualisation des aides du 1<sup>er</sup> pilier et une diminution de 35% du montant de ces aides, et, 3) la même chose que pour le scénario précédent avec la conservation des Primes au Maintien des Troupeaux de Vaches Allaitantes (PMTVA), de prime compensatoire ovine et des quotas laitiers. Ces scénarios pourraient se traduire par une réduction du troupeau bovin et des revenus. Les risques liés à l'évolution de la PAC peuvent peser sur les décisions d'investissement et sur les grandes orientations de production.

### 1.2.3. Les aléas de marché

A l'origine des fluctuations de prix se trouvent les mécanismes d'ajustement de l'offre à la demande : une demande plus importante que l'offre fait augmenter les prix tandis qu'une surproduction les fait baisser. Le marché des matières premières agricoles est connu pour être volatile car les quantités produites sont peu maîtrisables du fait des aléas climatiques et sanitaires, et difficilement ajustables en raison de la longueur des cycles de production. La demande en matières premières agricoles est elle, assez rigide et instable. Cette instabilité est amplifiée par les crises sanitaires qui peuvent induire des crises de consommation telles que les crises ESB 1996 et 2001 où les consommateurs se sont tournés vers des produits de substitution. La volatilité des prix augmentent avec le caractère périssable des denrées (les prix seront davantage cassés si l'alternative immédiate à la vente de la marchandise est sa destruction) et sa liaison au marché mondial : un marché local ou protégé par des douanes sera moins sensible aux fluctuations des marchés mondiaux (Thomson et al., 2000).

Dans les élevages de bovins allaitants, les aléas de prix concernent le prix des intrants (engrais, concentré acheté, fuel etc.) et le prix des produits vendus (viande, céréales etc.). Les exploitations de bovins viande tirent au moins les deux tiers de leur revenu de la vente des animaux. Dans l'OTEX 42 qui correspond aux exploitations spécialisées en bovin viande, les recettes des produits végétaux sont négligeables par rapport aux recettes bovines. Par ailleurs, la part des principales dépenses par rapport au produit animal brut (achat d'aliment pour le bétail, carburant ou produits vétérinaires) est bien inférieure à celle des autres types d'élevage (Tableau 3).

*Tableau 3 : Recette des produits végétaux et principaux postes de dépense selon les orientations de production, exprimés en pourcentage du produit brut animal.*

	Recette des végétaux	Aliment du bétail	Carburant et lubrifiant	Engrais, phyto. et semences	Produits vétérinaires
Bovin viande (OTEX 42)	4%	19%	5%	10%	5%
Bovin lait (OTEX 41)	6%	15%	3%	8%	3%
Ovin-caprin (OTEX 44)	4%	24%	4%	8%	4%
Granivore (OTEX 50)	3%	51%	1%	1%	6%

*Source: RICA (2008) données moyennes 2002-2006*

Les risques liés à la variation des cours de la viande bovins apparaissent donc comme les plus importants pour les exploitations de bovins à viande. Seul 10% du volume de viande bovine vendue l'est sous contrat (Babusiaux, 2000). Les éleveurs sont donc libres de choisir à qui ils vont vendre leurs produits et quels produits ils vont mettre sur le marché. La diversité des produits animaux est ainsi un atout pour les éleveurs car elle leur permet d'adapter le profil des ventes au contexte (Veysset et al., 2005). Cependant étant donné la longueur du cycle de production, modifier profondément les

types d'animaux produits peut prendre du temps (Liénard et al., 1998). La flexibilité du système sera cependant plus grande si l'éleveur dispose de marges de manœuvre vis-à-vis de l'occupation des bâtiments, de la disponibilité en travail et s'il a les connaissances nécessaires pour modifier ses pratiques. Une production diversifiée avec par exemple des ventes étalées sur l'année ou des ventes concernant différents types d'animaux améliorera également cette flexibilité (Ingrand et al., 2004). Les capacités d'adaptation des éleveurs sont cependant limitées par les acheteurs. Les abattoirs sont fortement concentrés avec 50% de l'activité des abattoirs détenue par quatre grands groupes industriels (Jambou et al., 2001) et le marché du brouillard (jeune bovin maigre) est dirigé presque exclusivement vers l'Italie, ce qui laisse finalement à l'éleveur un faible pouvoir de négociation. Les modifications du profil des ventes que l'éleveur souhaite réaliser doivent donc s'accorder à la demande du marché.

Actuellement les marchés financiers (marché à termes) qui permettent d'avoir des prix garantis quelques mois avant la concrétisation de la transaction sont peu développés en France, voire inexistantes pour la viande bovine (Roussillon–Montfort, 2008). Quant aux pouvoirs publics, ils ont réagi aux différentes crises (notamment les crises ESB) en octroyant des aides exceptionnelles pour compenser partiellement le manque à gagner. Ils ont également diminué le risque de prix à sa source en mettant en place en 1967 un régime unique d'échanges aux frontières par le système de droits de douane à l'importation et de restitutions à l'exportation. Cela a permis jusqu'à présent de limiter les répercussions de la fluctuation des prix mondiaux sur les prix pratiqués dans l'Union Européenne. La progressive libéralisation de l'agriculture laisse toutefois envisager une plus grande variabilité des prix dans le futur et de possibles baisses des prix liées à la concurrence directe du Brésil et de l'Argentine. En 2008, le Brésil à lui seul est le 1<sup>er</sup> exportateur mondial avec un tiers des volumes exportés soit 2,3 millions de tonnes de viande<sup>2</sup> (l'Union Européenne produit environ 8 millions de tonnes et exporte 250 milliers de tonnes<sup>3</sup>). Jusqu'à présent, ces pays ont du restreindre leurs exportations vers l'Europe en raison de problèmes sanitaires (fièvre aphteuse). Une forte augmentation de l'afflux de production en provenance d'Amérique Latine est donc à craindre à l'avenir, d'autant plus que ces pays disposent d'un gros potentiel pour augmenter encore leur capacité de production.

#### *1.2.4. Les aléas sur la production végétale*

Les aléas sur la production végétale englobent tous les facteurs induisant une variabilité de la quantité et de la qualité produite. Les facteurs climatiques, les ravageurs (insectes, rongeurs, adventices..) et les maladies peuvent affecter directement ou indirectement (en créant par exemple des terrains favorables aux ravageurs et aux maladies lorsque les conditions climatiques sont défavorables) les rendements des productions végétales et leur qualité. La production fourragère, rarement irriguée,

---

<sup>2</sup> <http://www.web-agri.fr/Outils/Fiches/FicheDetail.asp?idRub=1111&Id=44780&Wafiltre=29>

<sup>3</sup> <http://ec.europa.eu/agriculture/publi/caprep/prospects2006/fullrep.pdf>

est particulièrement sensible aux variations climatiques. Ruget, dans le rapport « expertise sécheresse de l'INRA » (2006), affirme que l'amplitude interannuelle de la production régionale fourragère se situe en France entre 50% et 100% de la moyenne régionale (i.e. que les rendements de ces productions augmentent ou diminuent fréquemment de 50% par rapport à leur niveau moyen).

Une spécificité des élevages d'herbivore est l'importance des fourrages autoproduits dans l'alimentation du troupeau (Lemaire et al., 2006a). Différentes options se dessinent à l'éleveur pour anticiper et réagir aux variations de l'offre alimentaire. En cas de production fourragère surabondante, l'éleveur a trois options : ne pas récolter le surplus et s'autoriser une conduite du pâturage plus 'laxiste', récolter davantage d'herbe pour la stocker ou la vendre, et, augmenter la production animale.

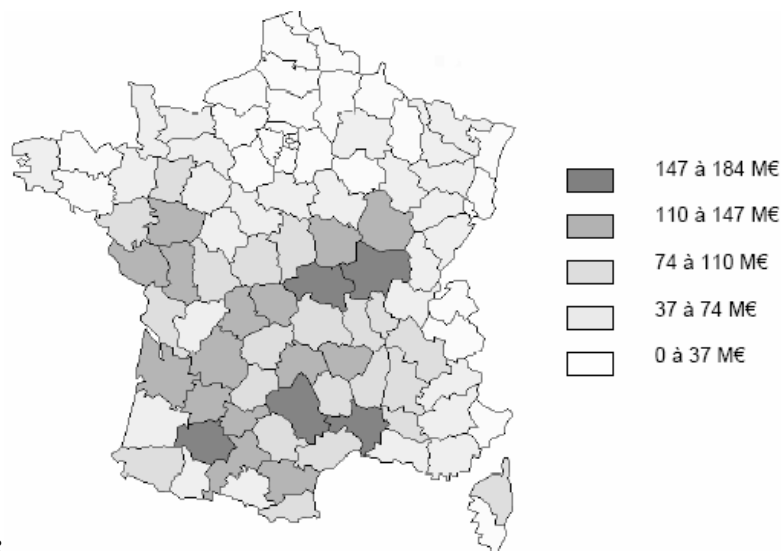
En cas d'offre déficitaire, il est possible de sous alimenter temporairement les animaux avec, sous certaines conditions, un effet très limité sur la production. Les vaches allaitantes peuvent ainsi mobiliser leurs réserves corporelles au profit des besoins pour la gestation et la lactation (Blanc et al., 2004). Il ne faut cependant pas descendre en deçà d'un seuil minimal de réserves corporelles ni sous-alimenter la vache au moment de la mise à la reproduction afin de limiter les risques de baisse de fertilité et donc une augmentation de l'intervalle entre deux vêlages (Agabriel et Petit, 1993). Quant aux autres animaux d'élevage, il suffit qu'après la période de sous alimentation, il y ait une période suffisamment longue avant la vente pour que l'animal puisse compenser partiellement ou totalement le retard de croissance (Hoch et al., 2003). Afin de diminuer les besoins alimentaires du troupeau, les veaux peuvent être sevrés plus tôt (Réseaux d'élevage Charolais, 2003) et la date de vente des animaux avancée (Andrieu et al., 1976). La composition des rations permet aussi de limiter l'achat de fourrage ou pallier le manque de pâturage avec des rations à base de concentrés, de paille ou de pulpe de betterave (Straëbler et Le Gall, 1993). L'utilisation des surfaces végétales peut également être ajustée. Les surfaces fauchées peuvent être réduites de façon à privilégier le pâturage (Pflimlin, 1997). Lorsque les conditions climatiques le permettent, étendre la période de pâturage avec une rentrée étable tardive ou mise à l'herbe précoce diminue les besoins du troupeau en fourrages conservés (Pottier et al., 2001). Quant à l'utilisation de la SAU, les céréales peuvent être pâturées immatures plutôt que moissonnées (Andrews et al., 1991 ; Le Gall et al., 1998) ou une partie de la sole initialement destinée à faire du maïs grain peut être convertie en maïs ensilage (Chénais et al., 1997).

Certains ajustements dépendent cependant des décisions stratégiques que l'éleveur aura prises auparavant concernant « le système d'élevage -date de vêlage, type de production animale- et le système fourrager : niveau de chargement en fonction de la STH ou de la SFP, niveau d'utilisation des concentrés, part de l'herbe et du maïs ensilage, pâturage ou foin et ensilage d'herbe, etc.» (Lemaire et al., 2006b). Pour diminuer l'exposition aux risques climatiques, la (ou les) période(s) de vêlage doit être choisie de façon à éviter que le moment où les besoins du troupeau sont les plus importants ne coïncide avec les périodes où la disponibilité en pâturage est faible ou aléatoire (D'Hour et al., 1998 ; Pottier et al., 2007). Le choix de races moins sensibles à la sous-alimentation ou des cultures tolérant

d'avantage la sécheresse comme le sorgho (Lemaire et al., 1996) peut aussi réduire cette exposition au risque.

L'État dispose d'instruments pour aider les éleveurs à faire face aux catastrophes naturelles, aux calamités agricoles (sécheresse, inondation, etc.). Boyer (2008) estime ainsi que les éleveurs allaitants du pourtour du massif central sont les principaux bénéficiaires du Fonds National de Garantie des Calamités Agricoles (FNGCA). Les causes de ces indemnités sont essentiellement la sécheresse sur fourrage (Figure 11). Bien que l'assureur Groupama réfléchisse en ce moment à la création d'un produit d'assurance sur les risques affectant les rendements des fourrages, il n'en existe encore aucun sur le marché.

*Figure 11 : Montant total des indemnités du FNGCA sur 1980-2005 par département en million d'euros constants*



*Source: Boyer, 2008*

#### *1.2.5. Les aléas sur la production animale*

D'autres aléas peuvent toucher directement la production animale : problèmes sanitaires, reproduction défailante, problème de croissance des animaux ou conditions climatiques extrêmes. Dans le cas de pathologies contagieuses (ESB, fièvre aphteuse, fièvre catarrhale etc.), en plus des pertes de production occasionnée, très importantes dans certains cas (problème de reproduction ou de croissance), des abattages systématiques et des difficultés, voire parfois l'interdiction de mise en marché, affectent les résultats économiques des exploitations. Pour se prémunir de ces risques, les éleveurs doivent faire en sorte d'avoir des bâtiments sains, une bonne prophylaxie (Rat-Aspert et al., 2008) et de limiter les risques d'infestation des pâturages par des parasites (Boyard et al., 2007). Lorsque les conditions sanitaires sont dégradées, il peut être nécessaire d'avoir recours à des soins vétérinaires ou d'anticiper les ventes.

L'État intervient en cas de crise sanitaire. Il existe également certaines assurances qui couvrent les risques de forte mortalité du bétail et les conséquences de mise en place de restrictions sanitaires vis-à-vis des maladies contagieuses (rapport Babusiaux, 2000).

### **1.3. Conclusion : Importance de l'estimation des impacts des aléas de prix et de climat pour la gestion des risques en élevage**

Les aléas de prix, de production (climatique et sanitaire) et de politique agricole induisent des incertitudes quant aux futurs montants des recettes (quantités produites et qualités, prix de vente, montant des aides reçues) et des coûts de production (achat de produits phytosanitaires et produits vétérinaires, quantités d'aliments achetés, prix des intrants, etc...). Ces aléas perturbent le contexte dans lequel évoluent les exploitations ce qui demande aux éleveurs d'ajuster continuellement leurs décisions, et parfois aux décideurs publics d'élaborer des plans de gestion de crise.

Les éleveurs disposent d'un assez large éventail d'options pour prévenir les risques et ajuster leurs choix de production aux conditions saisonnières, que ce soit au niveau du système de production végétal ou au niveau du troupeau. La difficulté pour eux est alors de déterminer quelle est la meilleure réponse à apporter pour gérer ces aléas sachant que les objectifs de réduction des risques et de maximisation des performances du système de production sont souvent contradictoires et que les décisions prises aujourd'hui peuvent avoir des conséquences sur celles qu'ils pourront prendre demain.

**Pour prendre les meilleures décisions possibles, les éleveurs, les institutions financières et les pouvoirs publics doivent pouvoir estimer les impacts que peuvent avoir les aléas sur les systèmes de production et sur les résultats économiques des exploitations de bovins allaitants, compte tenu des choix de production effectués par les éleveurs.**

**Nous concentrerons le reste de notre analyse sur deux aléas: les aléas de prix de la viande et les risques climatiques sur la production végétale.** Ces aléas nous ont paru majeurs par rapport aux autres aléas que nous avons précédemment traités : les aléas de politiques agricoles, les aléas sur le prix des intrants et les aléas sanitaires. Jusqu'en 2013, le montant des aides PAC reçues par les éleveurs peut en effet être considéré comme quasiment certain dans la mesure où les règles imposées par la conditionnalité sont respectées (quelques aménagements des aides sont cependant envisagés avec le bilan de santé de la PAC qui sera finalisé en 2009). A court et moyen termes nous ne considérons pas cet aléa comme représentant un risque pour les exploitations de bovins allaitants. Comparativement aux autres systèmes d'élevage, les aléas de prix des intrants (achat d'aliment,

produits vétérinaires et intrants nécessaires à la production végétale) ne nous ont pas paru primordiaux bien que non négligeables : une augmentation de la variabilité de ces intrants pourrait en effet inciter ces exploitations à être plus autonome. Quant aux risques de production, comme le souligne le rapport Babusiaux (2000), si en matière de risques sanitaires (hors risques liés à la sécurité des aliments), les dispositifs publics et professionnels fonctionnent de façon efficace, en matière de risques climatiques, la sécheresse sur fourrage demeure la principale source de perte de revenu (et de cheptel) malgré les interventions du Fonds National de Garantie des Calamités Agricoles (FNGCA). De plus, avec le réchauffement climatique en cours et la libéralisation des échanges, les risques liés au climat et aux prix sont susceptibles de s'accroître à l'avenir. Parallèlement, les dispositifs publics de soutien sont en train d'être réformés : progressive libéralisation des échanges, probable remplacement du FNGCA par des assurances privées (Babusiaux, 2000 ; Ménart, 2004 ; Guimet, 2005 ; Saddier et Simon, 2005 ; Mortemousque 2007).

## **2. Analyse bibliographique des modèles économiques existants permettant d'évaluer l'impact des aléas sur les exploitations**

La modélisation est une méthode privilégiée pour mettre en évidence, comprendre et prédire l'impact des aléas. Un modèle est une représentation simplifiée de la réalité, figurant les éléments constitutifs du système et de son fonctionnement. Il permet de décrire les interactions entre les décisions, le système de production et les résultats économiques, et d'isoler l'effet d'un facteur sur le reste du système considéré.

Nous souhaitons simuler non seulement l'impact des aléas et des décisions sur le système de production mais aussi la façon dont les arbitrages entre les différentes options sont réalisés par l'éleveur. Nous considérons ici les éleveurs comme des 'agents économiques' qui prennent leurs décisions de façon à optimiser un (ou plusieurs) objectif(s). Cette approche a l'avantage de définir de façon endogène les règles présidant aux arbitrages entre les différentes options possibles. Il existe deux grands types de modèle traitant de façon 'économique' les choix de production : les modèles économétriques qui s'appuient sur une approche empirique et les modèles en programmation mathématique qui ont une démarche plus mécaniste.

Avant de procéder proprement dit à la revue des modèles économiques, nous proposons d'expliquer brièvement quelques notions économiques à partir desquelles le comportement des éleveurs est modélisé. Nous débuterons ensuite cette revue bibliographique par la description des modèles économétriques développés en agriculture en mettant en exergue la manière de traiter les risques de production, de prix et les préférences de l'éleveur par rapport aux risques. Enfin, nous exposerons les différents types de modèles existants en programmation mathématique et les

applications qui en ont été faites en élevage. Les méthodes d'estimation et les algorithmes d'optimisation ne sont pas présentés ici.

## **2.1. Quelques notions économiques utiles pour comprendre ces modèles**

### *2.1.1. Fonction objectif et fonction d'utilité*

En économie, il est classiquement considéré que l'éleveur est un individu rationnel et qu'il prend ses décisions de façon à optimiser une fonction 'objectif'. Cette fonction est intrinsèque à l'individu : elle ne dépend pas du contexte économique, géographique ou environnemental. Les décisions optimales qui découlent de cette fonction objectif sont par contre liées au contexte dans lequel évolue l'exploitation.

La théorie du producteur spécifie que cet objectif est la maximisation du profit (ou la minimisation des coûts). Différentes approches ont été développées depuis, pour intégrer d'autres critères à modèle de décision. Ces critères peuvent comprendre un ensemble d'objectifs de différentes natures (économique, environnemental, social...), parfois contradictoires, parmi lesquels le profit n'est qu'une composante (Rehman et Romero, 1993; McCown, 2001). D'autres approches ne conservent qu'un objectif qu'elles considèrent comme central : le profit, mais d'autres critères sont intégrés pour prendre en compte la distribution de ce profit dans le temps et selon les états de nature des variables aléatoires.

La fonction d'utilité permet d'introduire les préférences des éleveurs par rapport à la distribution des variables à optimiser. L'utilité est une mesure du bien-être ou de la satisfaction obtenue par l'obtention d'un bien, d'un service ou d'argent. Différentes propriétés sont associées à la fonction d'utilité. On distingue ainsi la concavité correspondant au fait que l'obtention d'un bien que l'on ne possède pas procure plus de satisfaction que l'obtention de ce même bien si on le possède déjà en grande quantité ; l'élasticité de substitution qui se définit comme « l'utilité procurée par un bien  $a$  est  $x$  fois celle procurée par un bien  $b$  » et la séparabilité qui sous-tend que l'utilité de la somme de deux biens est égale à la somme des utilités de chaque bien.

### *2.1.2. L'aversion au risque*

L'utilité du profit ou de la « richesse » peut différer selon la distribution de ce profit ou de cette « richesse ». Si l'éleveur est averse au risque, il optera pour des décisions qui diminueront la sensibilité des profits aux aléas, au prix souvent d'une réduction de l'espérance de profit (ce qui correspond à la prime de risque). L'aversion au risque est définie par rapport à la courbure de la fonction d'utilité : une droite correspondra à un agent neutre au risque alors qu'une forte courbure sera synonyme d'une forte aversion au risque. La Figure 12 montre qu'un individu averse au risque aura une utilité qui décroît beaucoup plus rapidement lorsque le niveau de profit  $w$  diminue qu'un individu

neutre au risque. On peut noter par ailleurs que la fonction d'utilité correspondant à un individu neutre au risque ne respecte pas les exigences de concavité de la fonction d'utilité.

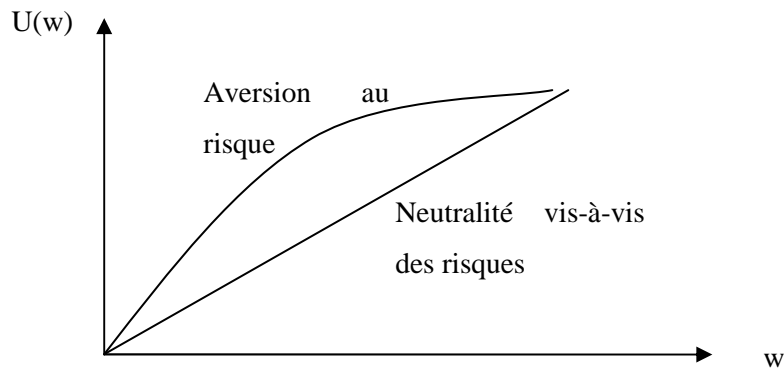
Le coefficient d'aversion absolu au risque  $r_a$  est défini par Arrow-Pratt comme l'opposé de la dérivée seconde de l'utilité  $U''$  du profit  $w$  sur sa dérivée première  $U'$  :

$$r_a = -\frac{U''(w)}{U'(w)}$$

Il est généralement accepté que l'aversion absolue au risque décroît avec  $w$  dans la mesure où les personnes peuvent davantage se permettre de prendre des risques lorsqu'elles sont plus riches. Les fonctions d'aversion au risque sont ainsi catégorisées par rapport au sens de variation de l'aversion au risque lorsque la richesse augmente :

- IARA : Aversion absolue au risque croissante / IRRA : Aversion relative au risque croissante
- CARA: Aversion absolue au risque constante / CRRA : Aversion relative au risque constante
- DARA: Aversion absolue au risque décroissante / DRRA : Aversion relative au risque décroissante

*Figure 12 : Attitudes vis-à-vis des risques et forme de la fonction d'utilité*



*Source : d'après Hardaker et al., 2004*

### *2.1.3. Différentes façons d'introduire le risque dans la fonction objectif*

Pour prendre en compte dans la fonction objectif les différents états de nature des variables aléatoires et du profit qui en résulte, deux grands types de méthodes existent. La première ne prend en compte que les deux premiers moments de la distribution du profit : l'espérance et la variance. Ce modèle a été initialement développé par Freund (1956). L'objectif de maximisation de l'utilité du profit peut être spécifié comme une combinaison non linéaire du revenu espéré et de la variance de ce

revenu. Cette approche est communément appelé ‘Espérance-Variance’ et formulé de la façon suivante (Hardaker et al., 2004):

$$\text{Max } Z = U(W) = E(W) - 0,5.r_a \times \text{var}(W)$$

Avec  $W$  le profit,  $E(W)$  le profit espéré,  $r_a$  le coefficient absolu d’aversion au risque et  $\text{var}(W)$  la variance du profit.

Une variante de modèle inclut le critère ‘safety first’. Dans cette approche, le risque n’est pas mesuré par la variance de l’évènement aléatoire mais par rapport à un seuil considéré par le décideur comme le montant en deçà duquel il ne souhaite pas voir chuter son revenu (Roy, 1952). Seules les variations négatives par rapport à ce niveau sont considérées. Des niveaux de profit légèrement en deçà du niveau moyen mais au-delà du niveau seuil ( $W_0$ ) ne sont ainsi pas pénalisés par cette méthode. Plus que l’aversion au risque, cette formulation prend en compte les besoins minima que l’éleveur cherche à satisfaire :

$$\text{Max } Z = U(W) = \bar{W} - \min(0, W - W_0)$$

L’autre méthode consiste à maximiser directement l’utilité espérée du profit (Lambert et McCarl, 1985). Cette formulation est issue des travaux de von Neumann et Morgenstern (1944). Elle suppose que l’utilité procurée par un tirage aléatoire, caractérisé par un ensemble de profits  $W$  et de probabilités associées  $p$ , est équivalente à la somme des utilités de ces profits, pondérée par leur probabilité :

$$\text{Max } Z = E[U(W)] = \sum p.U(W)$$

Cette méthode a l’avantage de prendre en compte l’ensemble de la distribution de l’utilité du profit.

## **2.2. Les modèles économétriques de production**

Les modèles économétriques cherchent à estimer les paramètres d’une ou plusieurs fonctions à partir d’une base de données historiques grâce à l’inférence statistique. Typiquement ce sont des fonctions de production, de coûts et d’utilité qui sont appréciées. Nous ne traiterons ici que des modèles de production et nous n’aborderons pas les méthodes d’estimation.

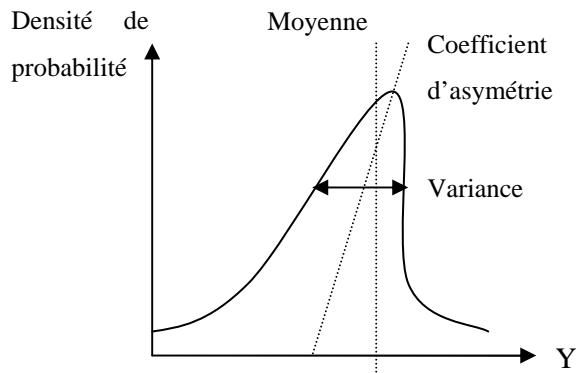
### *2.2.1. Modélisation de la fonction de production*

#### ○ Modélisation de la distribution de la production en fonction du niveau d’intrants

La production peut être considérée comme une variable aléatoire dont la distribution dépend des niveaux d’intrants. Les intrants peuvent non seulement influencer sur le niveau moyen de la production mais aussi sur le reste de sa distribution. Une vaste littérature a ainsi pour objectif d’estimer l’impact du niveau des intrants sur les risques de production, ceci dans le but d’améliorer la prédiction des choix des niveaux d’intrants par les éleveurs en présence de risque de production.

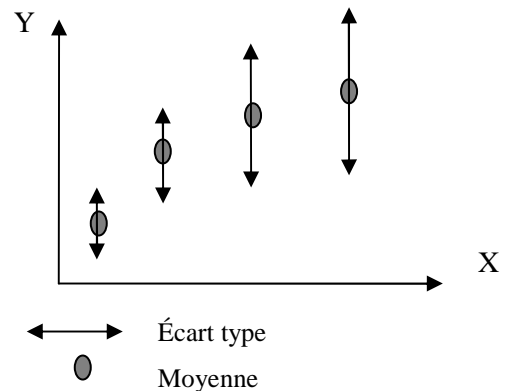
La distribution de la production peut être caractérisée soit par la spécification d'une forme fonctionnelle soit par l'estimation de ses moments (Kim et Chavas, 2002 ; Figure 13). Le choix de la forme fonctionnelle inclut les fonctions de distribution standard (normale, beta, gamma) ainsi que leurs transformations. Ramaswami (1992) utilise par exemple la fonction de distribution proposée par Taylor (1984):  $F(q, x) = 0,5 + 0,5 \tanh [P(x, q)]$ , dans laquelle  $x$  est la quantité d'azote appliquée et  $q$  le rendement en maïs,  $F$  est la fonction de distribution de  $q$  conditionnellement au niveau d'intrant  $x$ ,  $\tanh$  est la tangente hyperbolique et  $P$  un polynôme de  $q$  et  $x$  : une fonction de distribution du rendement de maïs est définie pour chaque niveau d'intrant.

Figure 13 : fonction de distribution de Y et moments de la distribution pour un niveau donné d'intrant



Source : personnelle

Figure 14 : production de Y en fonction du niveau d'intrant X : ex. d'un intrant qui augmente le risque



Bien que cette solution génère de bons estimateurs lorsque la forme fonctionnelle choisie est la 'vraie', cela n'est pas le cas avec des formes ne correspondant pas à la réelle distribution de la variable (Kim et Chavas, 2002). Étant donné que les connaissances des formes fonctionnelles réelles sont souvent approximatives, cette distribution est couramment estimée par la somme de ses moments : moyenne (1<sup>er</sup> moment), variance (2<sup>ème</sup> moment), coefficient d'asymétrie (3<sup>ème</sup> moment) etc. :  $Y = \sum_i \mu_i$ , avec  $\mu_i$  le moment d'ordre  $i$ .

Just and Pope (1978) proposent un cadre d'analyse pour estimer les relations entre les quantités d'intrants et les niveaux de production conditionnellement aux deux premiers moments. Ils ajoutent à la fonction 'moyenne', une fonction 'variance' hétéroscedastique (c.à.d. qui n'est pas constante quelque soit le niveau d'intrant considéré) qui permet d'évaluer l'impact des intrants sur la variance de la production indépendamment de ses impacts sur la moyenne : l'irrigation peut par exemple augmenter les rendements moyens et diminuer leur variabilité. Cette spécification permet d'interpréter les élasticités dérivées de la fonction variance comme étant le reflet d'un effet amplificateur ou atténuateur de risque de l'intrant (Figure 14).

$$Y = f(X, \beta) + h(X, \gamma) \cdot \varepsilon, \quad E(\varepsilon) = 0, \quad V(\varepsilon) = \sigma^2;$$

Avec  $Y$  un vecteur de production,  $X$  un vecteur d'intrant et  $\beta$  et  $\gamma$  des vecteur de paramètres,  $f$  et  $h$  respectivement les fonctions 'moyenne' et 'variance,  $\varepsilon$  les résidus.

Cette approche est courante en économétrie et a été utilisée dans nombre d'études (Griffith et Anderson, 1982 ; Di Falco et al., 2006 ; Isik, 2002, 2006 ; Kumbhakar, Tveteras, 2003 ; Love et Buccola, 1991 ; Saha et al., 1994 ; Shankar et Nelson, 2003 ; Leathers et Quiggin, 1991, etc.). Elle est cependant critiquée dans la mesure où cette méthode suppose que les quantités produites soient normalement distribuées (Antle, 1983b), ce qui restreint les moments d'ordre supérieur et par conséquent la distribution du profit. Le troisième moment permet notamment de prendre en compte les 'downside risks' : lorsque la distribution est asymétrique et déséquilibrée en faveur des faibles valeurs de  $Y$ , il y a une plus grande probabilité pour que le niveau de production soit inférieur au mode de la distribution (le mode est la plage de valeurs de  $Y$  pour laquelle il a le plus grand nombre d'observations). Certaines études ont montré que le 3<sup>ème</sup> moment ainsi que les moments d'ordre supérieur pouvaient avoir des impacts sur les choix des agriculteurs. Antle (1983b), Groom et al., (2008) et Kim et Chavas (2002) mettent en œuvre des méthodes permettant d'estimer davantage de moments, de façon plus ou moins flexibles.

○ Modélisation de l'impact des variables climatiques sur la production

Les variations climatiques peuvent affecter l'ensemble des agriculteurs la même année. A ce titre, les hypothèses relatives à la distribution des résidus (variance constante entre les années) peuvent être mises à mal. Des effets temporels, incluant les effets climatiques sont ainsi parfois ajoutés en tant qu'effet fixe ou effet aléatoire dans le terme d'erreur (Just, 1979 ; Griffith et Anderson, 1982). Si cette spécification permet de s'affranchir de l'effet des aléas climatiques, elle ne permet pas de les quantifier. Chen et Chang, (2005) et Isik et Devadoss (2006) introduisent alors des indicateurs de température et de précipitation comme variables explicatives des rendements moyens de différentes cultures et de leur variabilité (par une fonction de type Just et Pope). Il n'y a pas d'étude à notre connaissance qui ait introduit explicitement des données climatiques dans des fonctions relatives à la production animale. Le climat y joue un rôle particulier puisqu'il agit indirectement sur la production animale à travers la quantité d'intrant autoproduit disponible.

2.2.2. *Modélisation de la fonction de prix*

Similairement à la modélisation de la distribution des quantités produites, le prix peut être modélisé par une forme fonctionnelle ou caractérisé par ses moments. A cela s'ajoute le problème des anticipations des prix futurs par les agriculteurs. L'anticipation des prix futurs peut dépendre en effet de l'observation des prix passés. Les modèles de formation des anticipations de prix les plus couramment utilisés sont les modèles extrapolatifs qui considèrent que l'agriculteur anticipe une tendance, et les modèles adaptatifs qui supposent que l'agriculteur a une idée du prix 'normal' qui évolue en fonction des observations passées (Nerlove et Bessler, 2001).

### 2.2.3. *Modélisation des préférences des éleveurs vis-à-vis des risques*

L'utilité des profits dépend des préférences des agents vis-à-vis des risques. Ce qui intéresse alors beaucoup d'économètres est la détermination du type de préférence de ces agents vis-à-vis des risques (CARA, CRRA etc.) et l'intensité de leur aversion au risque. Le choix d'une forme fonctionnelle pour la fonction d'utilité peut avoir de fortes restrictions sur le type de préférences vis-à-vis des risques (Hardaker et al., 2004). La fonction d'utilité de type moyenne-variance ou la fonction exponentielle utilisée par Love et Buccola (1991) ou Shankar et Nelson (2003) est associée à une aversion au risque constante :

$$U(w) = 1 - \exp(-cw) \rightarrow r_a(w) = -U''(w)/U'(w) = c.$$

La fonction logarithme quant à elle, impose une aversion décroissante au risque :

$$U = \ln(w) \rightarrow r_a(w) = -U''(w)/U'(w) = 1/w.$$

Afin de s'affranchir de ces restrictions imposées par la forme de la fonction d'utilité, certains auteurs ont avancé des formes plus flexibles. Saha et al., (1994) proposent ainsi une fonction exponentielle-puissance, Chavas et Holt (1996) utilisent une fonction exponentielle de polynômes.

### 2.2.4. *Le modèle global*

Le modèle global consiste à spécifier les équations qui vont permettre d'estimer les différents paramètres des équations de prix, de production et d'utilité. Les différentes fonctions sont reliées par l'hypothèse de maximisation de l'utilité espérée des profits. La plupart des études estiment en fait la fonction de production indépendamment des décisions de l'éleveur. Cependant, lorsque les intrants considérés sont des intrants endogènes, c'est-à-dire dépendant des choix de l'éleveur, l'estimation des paramètres associés à ces intrants peut être biaisée si l'on ne considère pas le programme d'optimisation de l'éleveur (Love et Buccola, 1991 ; Saha et al., 1994 ; Kumbhakar et Tveteras, 2003 ; Di Falco et al., 2006). De plus, considérer le programme d'optimisation de l'éleveur permet d'estimer ses préférences vis-à-vis des risques. Si quelques études ont cherché à estimer les préférences des éleveurs vis-à-vis de risques de production, seul Isik (2002) a proposé une relation qui permet d'estimer conjointement des fonctions de production et d'utilité en présence de deux sources de risques : le prix et la production.

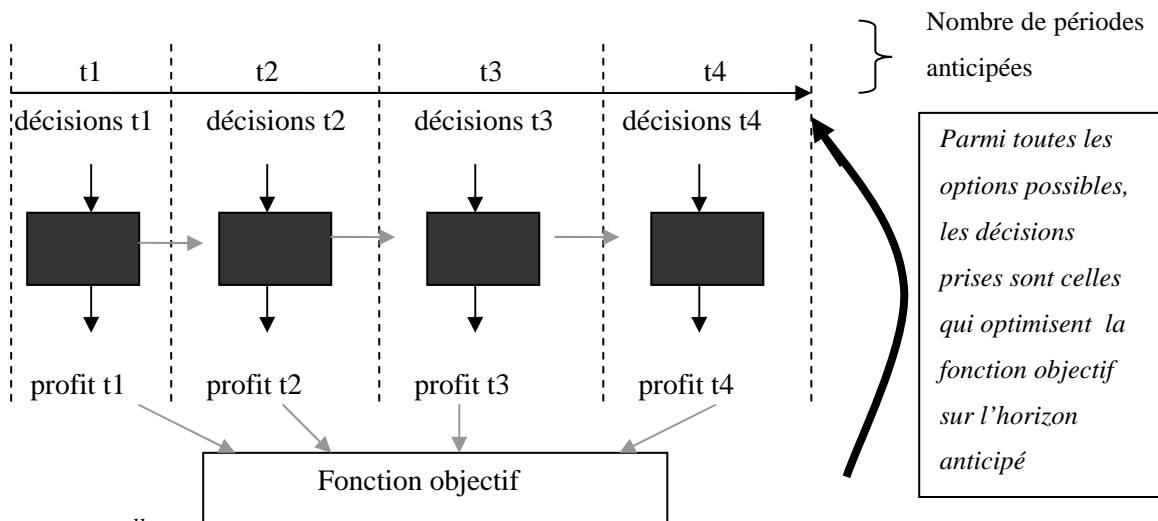
## **2.3. Les modèles en programmation mathématique**

Ces modèles simulent les décisions du producteur et leurs conséquences en termes de production et de résultats économiques. Ils peuvent être utilisés de façon positive ou normative (Deybe, 1989). Ils permettent de prendre en compte les interactions entre les différentes composantes biologiques, financières, structurelles et décisionnelles de l'exploitation.

### 2.3.1. Modèle de Programmation Mathématique (PM) statique ou multi périodiques

Les modèles de programmation mathématique optimisent les choix des éleveurs par rapport à une fonction objectif sous un ensemble de contraintes (Figure 15). Ces contraintes peuvent être multiples. Elles font généralement référence à la disponibilité des ressources (terres, bâtiment, cheptel, travail etc.), aux processus biotechniques, aux réglementations, aux politiques agricoles ou aux restrictions commerciales. Ce type de modèle permet d'intégrer facilement les interdépendances entre les différents processus biotechniques et avec les décisions de production. Des couplages avec des modèles biophysiques sont fréquemment réalisés (Flichman, et Jacquet, 2003).

Figure 15 : La programmation mathématique définit quelles sont les décisions optimales pour une période donnée



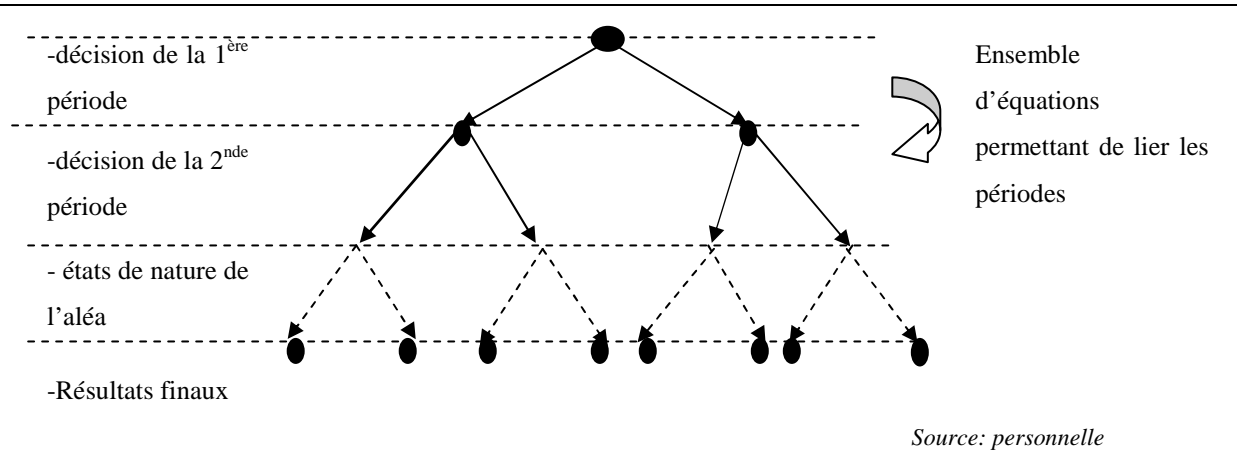
Source : personnelle

Des variables aléatoires peuvent être définies en entrée du modèle de façon à introduire le risque (prix, rendement, etc.). Par voie de conséquence, les profits en sortie du modèle sont incertains (Figure 16). Ridier et al., (2001), Havlik et al., (2005) introduisent des profits variables dus au risque de prix de la viande bovine (risques caractérisés par leurs deux premiers moments). Louhichi et al., (2006) ajoutent au risque de prix celui de rendement. Toutes les décisions sont prises au début de l'horizon de planification et ne dépendent pas de l'état des variables aléatoires.

Les modèles de programmations peuvent être mono-périodiques ou multi-périodiques. Dans un modèle mono-périodique (appelé aussi statique), le système est supposé à l'équilibre : il n'y a pas d'état initial. De tels modèles ont été récemment développés en élevage bovin viande par Veysset et al., (2005a), Havlik et al., (2005) et Crosson et al., (2006). En ce qui concerne l'alimentation des animaux, les deux premiers associent aux différents types d'animaux, un ensemble de rations possibles.

Dans le modèle de Crosson et al., (2006) la ration est déterminée de façon endogène par le modèle sur la base de deux critères : la ration doit avoir un niveau énergétique au moins égal aux recommandations alimentaires sans dépasser la capacité d'ingestion de l'animal. Dans tous ces modèles, le poids de l'animal est fixé en fonction de « l'activité » animale choisie. Les calculs des rations et des besoins sont effectués d'après le système français de recommandations alimentaires décrit dans INRA (2007).

*Figure 16 : Exemple de processus décisionnel avec deux périodes et un risque*



Les cultures sont représentées dans les deux premiers modèles par des couples cultures-itinéraires techniques caractérisés par leur rendement annuel. L'assolement est limité par des contraintes de rotation. Dans le dernier modèle, la représentation de la production des prairies y est plus détaillée : elle est définie mensuellement d'après des observations empiriques et laisse un large choix du nombre et de la période de fauche. Des contraintes de hauteur minimale de l'herbe définissent la période à laquelle sont rentrés les animaux à l'étable.

Les modèles multi-périodiques introduisent explicitement la notion de temps : il y a une situation initiale et une situation finale. Ils permettent, à partir d'une situation initiale donnée, de retracer l'évolution du système et de prendre en compte les dynamiques biologiques et les investissements. Ces modèles ne convergent pas forcément vers un équilibre, tout dépend du nombre de périodes considérées. Ce type de modèle a été développé en élevage ovin par de Wit et al., (1980) avec un horizon de planification de 15 ans, et en élevage bovin par Ridier (2001), Wallace et Moss (2001), Louhichi et al., (2004) avec un horizon de planification de 5 ans, ou par Louhichi (2001) avec un horizon de 3 ans (Tableau 4).

Dans la plupart de ces modèles, les décisions de production à optimiser concernent la taille et la composition du troupeau, et dans certains cas la composition des rations et les stocks d'aliments. Dans Louhichi (2001), les besoins alimentaires des bovins et ovins sont traduits par des contraintes de couverture des besoins énergétiques (UF) et des besoins en matières sèches. La proportion de concentré est fixée. Pour de Wit et al., (1980) et Wallace et Moss (2001) les besoins alimentaires sont

définis en fonction du type d'animal produit (différent en fonction de l'extensivité de la conduite). Dans Ridier (2001), les besoins alimentaires sont estimés en termes de quantité de fourrage et d'aliments concentrés nécessaires sur l'année pour couvrir les besoins des différents types d'animaux. Pour les besoins en pâturage, des sous- périodes sont définies dans l'année : les besoins doivent être couverts pour chaque période. Louhichi et al., (2004) laissent quant à eux le modèle libre d'ajuster les rations animales sous réserve que ces dernières couvrent les besoins énergétiques des animaux tout en ne dépassant pas certains seuils de quantité de concentrés et de canne à sucre, et, en assurant une quantité minimum de cellulose. Dans ces modèles, le troupeau est divisé en classes caractérisées par l'âge et le sexe des animaux. Le taux de renouvellement est fixe ou compris dans une fourchette étroite, le nombre de veaux par femelles est fixe, achat et ventes d'animaux sont possibles.

*Tableau 4 : Principales caractéristiques des modèles en programmation mathématique appliqués à l'élevage d'herbivores*

<b>Référence</b>	<b>Exploitation modélisée</b>	<b>Horizon *</b>	<b>Source de risque</b>	<b>Décisions</b>	<b>-Fonction objectif -Attitude/ risque</b>
Crosson et al., 2006	Bovin viande en Irlande	/	/	-Assolement -Composition de la ration -Achat/vente d'aliments	-Marge brute
Havlik et al., 2005	Bovins allaitants en France et en Tchéquie	/	Prix viande	- taille du troupeau et types d'animaux produits - assolement et utilisation de l'herbe - achat/vente aliment	-utilité espérée des profits nets -CRRA
Louhichi, 2001	Polyculture élevage en Tunisie	3 ans		-assolement, achat, vente et stockage d'aliments -ventes d'animaux, composition des rations -heures de travail, emprunt, placement, location de terre	- espérance- variance
Louhichi et al., 2004	Bovins lait à la Réunion	5 ans	-Prix -Rendement	-taille et composition du troupeau -assolement et utilisation de l'herbe -composition de la ration -investissement, emprunt	- 'safety first' -CARA
Ridier, 2001	Bovins viande en France	5 ans	Prix des bovins	-taille du troupeau et types d'animaux produits -assolement - investissement	- 'safety first' -CARA
Veyssset et al., 2005	Bovins allaitants en France	/	/	- taille du troupeau et types d'animaux produits - assolement et utilisation de l'herbe - achat/vente aliment	-Marge brute
Wallace et Moss, 2001	Bovin-ovin en Irlande	5 ans	/	- investissement et emprunt -vente d'animaux et de végétaux	-multi- objectifs

*\* pour les modèles mono périodique, étant donné que le système est supposé à l'équilibre, il n'a pas vraiment d'horizon de planification*

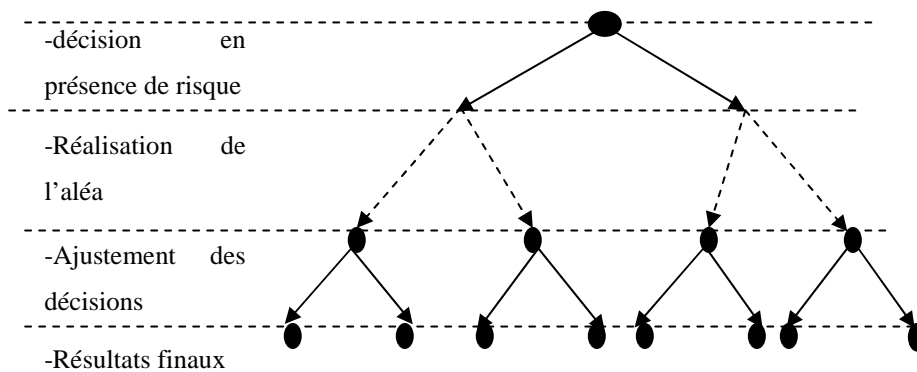
Quant à la production végétale, Louhichi (2001) définit les activités de production en fonction du type de sol, de la culture, du précédent cultural, des itinéraires techniques et des produits. L'accent est mis sur la définition d'un nombre important d'activités fourragères en fonction de l'espèce (ray gras etc.), du nombre de coupes et de l'utilisation (pâturage, ensilage ou foin) de prairies dans Louhichi et al., (2004) ; la production est définie par saison (été ou hiver).

La taille de ces modèles augmente avec le nombre de décisions, le nombre d'options possibles, et le nombre de périodes.

- *Les modèles de programmation stochastique discrète*

Ce type de modèle est une extension du modèle de programmation mathématique multi-périodique avec risques. Il a été développé initialement par Cocks (1968) et Rae (1971) et permet d'intégrer simultanément l'anticipation des risques et des possibilités d'ajustement aux aléas (Apland et Hauer, 1993). Il s'inscrit dans la théorie de la décision bayésienne. Deux grandes étapes sont considérées dans le processus décisionnel : dans la première, l'éleveur doit prendre des décisions en présence de risques : il sait qu'une variable pourra prendre plusieurs états et qu'il pourra ajuster ses décisions, dans la seconde, l'aléa s'est réalisé et il ajuste ses décisions. On parle de risque 'embedded' en anglais que l'on traduira en français par risque 'encastré' (Figure 17). On comprendra que la taille du modèle augmente selon les mêmes critères que précédemment avec deux dimensions supplémentaires : le nombre de périodes d'ajustement et le nombre d'états possibles pour les variables aléatoires (Hardaker et al., 2004).

*Figure 17 : Exemple de processus décisionnel avec un risque 'encastré'*



Source : personnelle

De tels modèles ont été développés en élevage bovin viande par Olson et Mikesell, (1988); Lambert, (1989); en élevage de bovins laitiers par Lien et Hardaker, (2001) et en élevage ovin/céréales par Kingwell et al., (1993) et Jacquet et Pluvinage (1997) (Tableau 5). L'horizon de planification de

ces modèles est inférieur à l'année. Dans ces modèles il n'y a pas d'état initial : les décisions qui sont prises lors de la première période correspondent à l'état d'équilibre du système.

Tableau 5 : Principales caractéristiques des modèles DSP d'élevage d'herbivores

Référence	Exploitation modélisée	Risques encastrés	Autres risques	Fonction d'utilité, Attitude/ risque
Jacquet et Pluinage 1997	Céréales+bétail en Algérie	-Rendement PV	/	-Safety first -neutre
Kingwell et al., 1993	ovin +céréales en Australie semi aride	-climat au semis : 1 risque : 3 états	-rendement final des cultures : 3 états pour chaque risque encastré	-non précisé -neutre
Olson et Mikesell; 1988	Ranch avec bovins en Californie	-Rendement fourrager : 3 risques, 4 états	/	-Espérance-variance - Neutre / CARA
Lambert, 1989	Ranch avec bovins aux Etats-Unis	Prix des veaux : 6 risques 2 états	/	-Profit -espéré neutre
Lien et Hardaker, 2001	Bovin lait en Norvège	-Rendement des cultures fourragères: 1 risque, 2 états -Production laitière : 1 risque, 3 états	- rendement des cultures COP	-Utilité espérée -CRRA

Référence	Décisions initiales	Possibilités d'ajustements
Jacquet et Pluinage 1997	-assolement -chargement	-utilisation finale des cultures à double fin -composition des rations -achat et vente d'aliment
Kingwell et al., 1993	-assolement -taille et composition du troupeau	- assolement -achat d'aliments
Olson et Mikesell, 1988	-chargement	-vente des veaux
Lambert, 1989	-composition de la ration des veaux -niveau énergétique de la ration des veaux -vente des veaux	-composition de la ration des veaux -niveau énergétique de la ration des veaux -vente des veaux
Lien et Hardaker, 2001	-assolement -nombre de vaches	-vente et achat de vache -composition de la ration des vaches -achat et ventes d'aliments

Le modèle décrit par Olson et Mikesell (1988) choisit le chargement initial (veaux plus vaches) puis ajuste la période de vente des veaux en fonction des rendements des cultures à chaque saison (3 risques de rendement, 4 états à chaque fois). Les besoins en fourrage des animaux doivent être satisfaits par la production, les achats et les stocks. Le modèle utilisé par Lambert (1989) ajuste l'alimentation hivernale et la période de vente des veaux chaque mois en fonction de la réalisation de l'aléa de prix de la viande bovine (6 risques de prix ; 2 états à chaque fois). Les gains de poids et la composition de la ration sont définis de façon endogène. Le gain de poids dépend de l'énergie ingérée au-delà des besoins de maintenance de l'animal. Des contraintes sont également spécifiées quant à la

capacité d'ingestion de l'animal et de ses besoins protéiques. Le modèle développé par Lien et Hardaker (2001) détermine l'assolement et le nombre de vaches initial et optimal puis ajuste le nombre de vaches en automne en fonction des rendements des cultures (2 états possibles) et du niveau de production de lait (3 états possibles) observés. Les besoins énergétiques doivent être couverts mais la composition de la ration est libre. Le modèle construit par Jacquet et Pluvinage (1997) définit l'assolement et le chargement optimal puis ajuste l'utilisation des céréales -pâturage ou grain- en été, en fonction de l'aléa climatique observé au printemps (4 états possibles). Les rations des animaux sont libres sous réserve que les besoins des animaux soient couverts avec moins d'un quart de concentré. Le modèle de Kingwell et al., (1993) optimise d'abord l'assolement, la taille et la composition du troupeau, les sources d'alimentation et ajuste les surfaces allouées aux différentes cultures en fonction des conditions climatiques avant le semis (9 états possibles). Les principales caractéristiques de ces modèles sont résumées dans le tableau suivant :

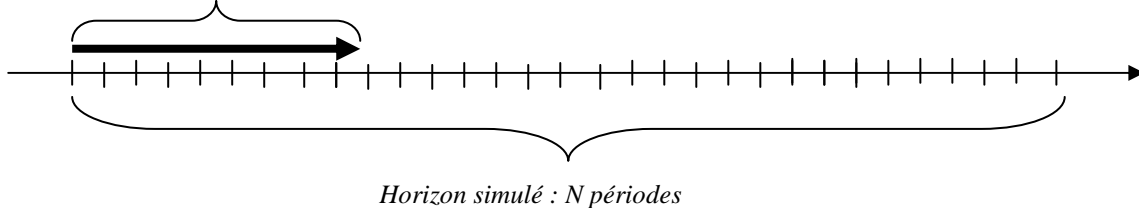
### *2.3.2. Les modèles récursifs*

Ce type de modèle a été utilisé la première fois par Day (1961). Il s'agit en fait d'une suite de modèles en programmation mathématique ou programmation mathématique stochastique discrète. Chaque modèle est réinitialisé avec les résultats de l'optimisation précédente et si nécessaire avec de nouvelles informations sur le contexte de climat, de prix etc. (Blanco et Flichman 2002). Les modèles récursifs sont des modèles dynamiques dans la mesure où les différentes périodes sont représentées explicitement. A la différence des modèles précédents, l'horizon de simulation n'est pas forcément égal à l'horizon de planification. Dans le cas d'un modèle multi-périodique, on peut supposer que seules les décisions prises pour la période en cours sont définitives. Les décisions qui avaient été anticipées pour le futur peuvent être partiellement révisées lorsque de nouvelles informations sont acquises lors de la simulation suivante (Figure 18). Cette méthode autorise des problèmes avec de nombreuses variables et de nombreuses étapes (Blanco et Flichman, 2002). Si les décisions prises sont optimales par rapport à l'horizon de planification considéré, elles peuvent cependant s'avérer sous-optimales sur l'ensemble de la trajectoire observée.

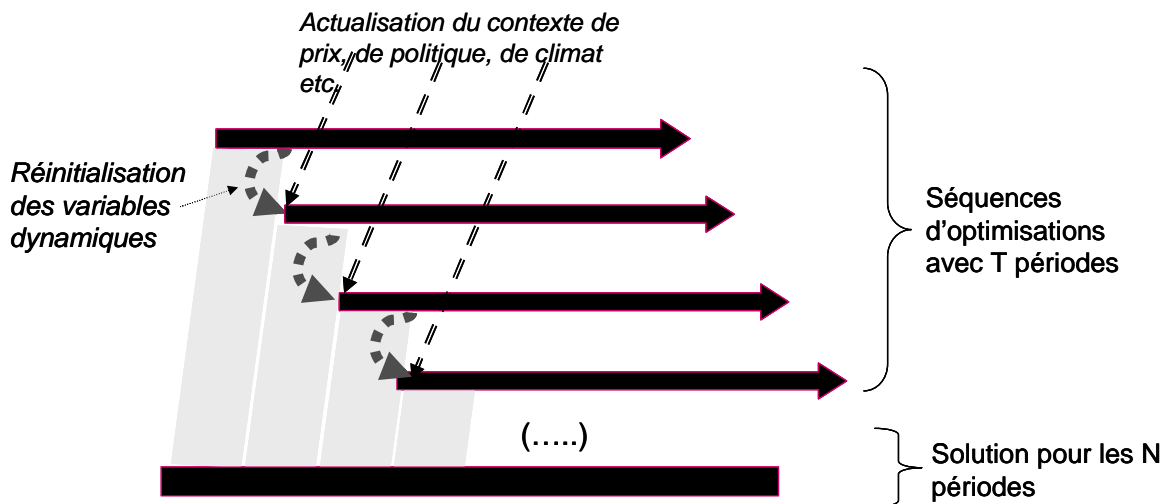
Figure 18 : Une suite récursive d'optimisations multi périodiques

- Un horizon anticipé pouvant être plus court que la période simulée

Horizon considéré pour l'optimisation des décisions (horizon anticipée) :  $T$  périodes



- Une période simulée couverte grâce à une séquence récursive d'optimisation



Source : personnelle

Cette méthode a été utilisée par Barbier et Bergeron (1999) et Wallace et Moss (2001) pour introduire chaque année les changements de politique et de prix qui se sont produits au Honduras entre 1975 et 1995 et pour observer leurs conséquences en termes de choix de production des agriculteurs et de revenus (suite récursive de modèles multi périodiques avec horizon de 5 ans). La récursivité permet à Louhichi (2001) d'introduire les répercussions des choix de production passés sur les prix de l'année suivante. Les optimisations sont réalisées à partir de modèles multi-périodiques précédemment décrits.

### 2.3.3. Les modèles d'optimisation dynamique stochastique

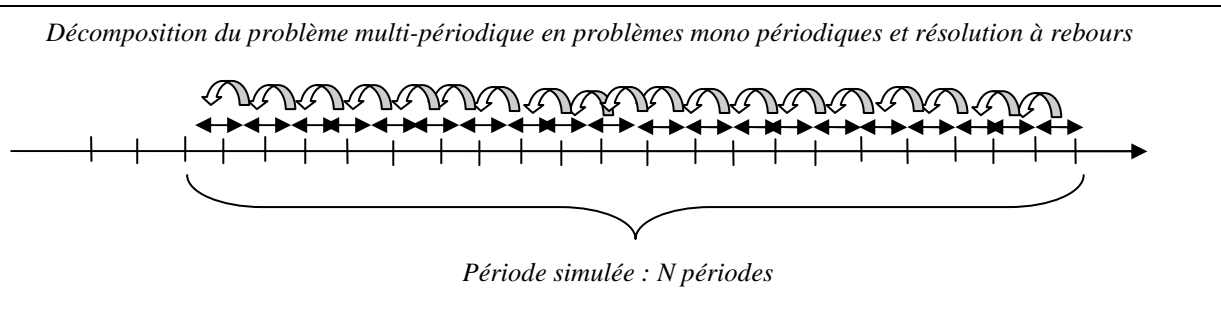
La programmation dynamique permet de résoudre les problèmes où il y a de nombreuses étapes décisionnelles. Cette technique a principalement été appliquée à des problèmes d'exploitation de ressources naturelles : pêche, forêt etc. Ces ressources sont vues comme des stocks de capital procurant des flux de services. Le problème est alors de maximiser le bénéfice obtenu par l'utilisation de ces flux dans le temps, sachant que l'utilisation des ressources peut influencer leurs disponibilités dans le futur. A cela s'ajoute le fait que des aléas non contrôlables par le gestionnaire peuvent aussi

affecter l'état de ces ressources. Le principal atout de cette technique est de retracer l'évolution dans le temps du système lorsque les valeurs de certaines variables sont introduites de façon aléatoire et lorsque l'on considère une gestion optimale des ressources.

La particularité de ce type de modèle comparé au modèle mathématique multi périodique réside dans sa méthode de résolution (Figure 19). Elle repose sur l'hypothèse de Bellman (1957) selon laquelle une décision optimale peut être trouvée à n'importe quelle étape décisionnelle pourvu que les décisions suivantes résultant de l'état induit par cette décision soient également optimales. Cette méthode introduit une fonction 'valeur' qui attribue une valeur aux stocks de ressources par rapport à un problème d'optimisation donné et au contexte étudié. Elle donne les règles de gestion optimale en fonction du niveau de ces stocks. Le problème multi-périodique est décomposé en problèmes mono-périodiques qui sont résolus à rebours jusqu'à ce que la fonction 'valeur' ne change plus c'est-à-dire soit indépendante du temps. C'est à partir de cette fonction que sont réalisées par la suite les simulations stochastiques.

L'inconvénient de ce type d'approche est que la taille du modèle augmente de façon exponentielle avec le nombre de variables dynamiques (appelés aussi variable d'état), d'où la nécessité de procéder souvent à des simplifications importantes dans la représentation des dynamiques du système de production.

*Figure 19 : Principe de résolution du modèle en programmation dynamique stochastique*



En élevage, ces modèles ont été appliqués par Moxnes et al., (2001) à l'élevage de rennes et par Kobayashi et al., (2007) à l'élevage extensif d'ovins. Dans les deux modèles, la variable aléatoire est la production végétale (de lichen dans le premier cas et de fourrage dans le second). Afin de limiter le nombre de variables d'états, une seule variable dynamique représente l'évolution de la taille du troupeau dans Moxnes et al., (2001), quatre dans Kobayashi et al., (2007). Les autres variables d'état (ou variable dynamique) sont la quantité de lichen dans le premier papier et le poids des brebis dans le second. Les relations entre disponibilité en fourrage, ration, poids, mortalité et reproduction du troupeau sont obtenues à partir de fonctions statistiques agrégées.

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques de ces modèles :

Tableau 6 : Principales caractéristiques des modèles en programmation dynamique stochastique appliquée à l'élevage d'herbivores

	<b>Exploitation modélisée</b>	<b>Variable stochastique</b>	<b>Variabes dynamiques</b>	<b>Variabes de décisions</b>	<b>-objectif Attitude/ risque</b>
Kobayashi et al., 2007	Ovins au Kazakhstan	-production de fourrage	-poids des brebis -nombre de brebis -nombre d'agneaux mâles -Nombre d'agneaux femelles -nombre de béliers castrés	-ventes d'animaux au printemps et en automne -achat de foin et d'orge en hiver	-Profit espéré -neutre
Moxnes et al., 2001	Rennes en Scandinavie	-production de lichen	- nombre de rennes - quantité de lichen	-vente, -alimentation	-Profit espéré -neutre

### 3. Objectifs de la thèse et démarche adoptée dans le travail de recherche

#### 3.1. Les objectifs de la thèse

Nous nous attacherons dans cette thèse à **mettre en évidence, à comprendre et à prédire les impacts des aléas de prix de la viande bovine et des aléas climatiques sur la gestion de la production par les éleveurs de bovins allaitants et leurs conséquences technico-économiques à court et moyen termes**. Ces décisions de production concernent les cultures - assolement, itinéraires techniques et utilisation de la production végétale- et le troupeau – alimentation, nombre et type d'animaux vendus-. Nous chercherons à simuler ces décisions en prenant en compte l'anticipation des risques par les éleveurs et les possibilités d'ajustement des choix de production aux aléas.

##### 3.1.1. Les questions et hypothèses de recherches

Ce travail doit permettre de répondre aux questions suivantes :

1/ Quels sont les leviers d'ajustement préférés et préférables pour faire face aux aléas de prix et de climat?

Nous avons vu précédemment qu'il existe, pour l'éleveur, différents leviers au niveau de la production pour faire face à ces risques. Il peut ainsi jouer sur la gestion du troupeau (vente et achat d'animaux, composition et niveau énergétique des rations...), des stocks alimentaires (achat, vente, prélèvement...) et des cultures (assolement, fauche...). Nous souhaitons déterminer quels leviers sont préférentiellement utilisés dans les exploitations observées et quels sont ceux qui paraissent optimaux par rapport à un objectif de maximisation du profit.

En France, Veysset et al., (2002) ont mis en évidence une baisse du poids des animaux vendus en 2001 (à âge comparable à 2000) lors de la crise ESB. Veysset et al., (2007) indiquent également que dans l'année de la sécheresse de 2003, le principal levier utilisé par les éleveurs était l'achat d'aliment avec un maintien du poids des animaux et l'augmentation des charges de la SFP en 2004. Ces analyses ont été effectuées sur des épisodes ponctuels et la significativité des différences n'a pas été testée statistiquement. Par ailleurs, nous souhaitons évaluer si ces ajustements sont vraiment optimaux. Jusqu'à présent, les études qui ont analysé l'intérêt de l'ajustement des décisions de production aux aléas se sont focalisées sur un ou deux types d'ajustement. Ces ajustements portent sur la gestion des surfaces fourragères (Romera et al., 2005; Jouven et Baumont, 2008), sur l'utilisation des cultures à double fin (Coleno et al., 2002 ; Jacquet et Pluvinage, 1997), sur l'ajustement de l'assolement (Kingwell et al., 1993), sur la modification des ventes d'animaux (Olson et Mikesell, 1988; Ethridge et al., 1990) ou sur les ventes d'animaux et la complémentation alimentaire (Lambert, 1989; Kobayashi et al., 2007 ; Gillard et Monypenny, 1990; Diaz-Solis et al., 2005). Nous souhaitons donner ici la possibilité de combiner les différents leviers d'ajustement et déterminer quels sont *les* leviers de production optimaux par rapport à un objectif de maximisation du profit.

### 2/ Quels sont les impacts de l'anticipation des risques sur les décisions des éleveurs?

Les risques ont de l'importance pour les éleveurs si i) les éleveurs sont averses au risque auquel cas ils seront prêts à renoncer à une partie de leur revenu pour réduire la variabilité de ces revenus, ou ii) les risques de pertes sont plus élevés que des risques de gains ('downside risk') auquel cas même un éleveur neutre au risque aura intérêt à prendre en compte la variabilité des profits pour optimiser ses choix de production (Hardaker et al., 2004). Si nous sommes dans une telle situation : aversion au risque et/ou 'downside risk' nous devrions observer une modification des décisions des éleveurs. Pour cela, il est important de déterminer quelle est l'attitude des éleveurs vis-à-vis des risques afin de pouvoir simuler leurs décisions en présence de risque de façon réaliste. Beaucoup d'études s'accordent à dire que les agriculteurs sont averses aux risques et que cette aversion varie en fonction du niveau de richesse. Il n'existe de consensus ni sur le degré d'aversion au risque des éleveurs (Anderson et Dillon, 1992), ni sur le caractère croissant, constant ou décroissant de l'aversion absolue et relative au risque par rapport à leur niveau de 'richesse' (Moschini et Hennessy, 2001). De plus, à notre connaissance aucune estimation de cette attitude vis-à-vis des risques n'a été faite sur des exploitations d'élevage de ruminants.

### 3/ Quels sont les impacts des aléas de prix et de climat sur les résultats économiques des exploitations ?

Si les impacts des aléas courants sur les revenus de l'année étudiée sont proportionnels à leur intensité, leurs conséquences potentielles sur la production et sur les résultats de l'exploitation peuvent être estimées par de simples relations linéaires. Cependant, d'après Lemaire et al., (2006), il existe des

effets de seuils entre les aléas climatiques anticipés et ceux qui sont imprévus. Pour les aléas anticipés, l'éleveur a généralement donné suffisamment de souplesse au niveau de ses surfaces fourragères et de ses stocks pour pouvoir ajuster l'offre de fourrage à la demande du troupeau. De plus, nous souhaitons tester si les gains accumulés lors des bonnes années compensent les pertes subies en années défavorables et si les impacts des aléas se font sentir sur la production de plusieurs années. Si la variabilité des prix et du climat augmente à l'avenir, une non symétrie entre aléas négatifs et aléas positifs pourrait en effet réduire l'espérance de revenu des éleveurs. De même si l'impact de deux très mauvaises années successives est pire que si elles étaient prises isolément, l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes augmenterait la probabilité de se trouver dans de telles situations. Peu d'étude à notre connaissance se sont intéressées à ces questions.

### *3.1.2. Les objectifs méthodologiques*

Pour répondre à ces questions, les modèles actuels nous paraissent insuffisants ou tout du moins améliorables. Les deux objectifs méthodologiques de cette thèse sont les suivants :

1/ Construire un modèle économétrique de production qui puisse nous permettre de révéler les préférences des éleveurs et d'estimer les impacts des risques de climat et de prix sur la production de viande. L'équation proposée par Isik (2002) pour estimer conjointement une fonction de production et les préférences des éleveurs en présence de deux sources de risque n'a encore jamais été mise en oeuvre. Tester l'applicabilité d'un tel modèle sur un problème empirique relativement complexe permettrait de contribuer à l'amélioration des modèles économétriques de production.

2/ Élaborer un modèle bioéconomique i) qui représente de façon réaliste le processus décisionnel, ii) qui soit suffisamment détaillé et souple pour offrir des sources d'adaptation et d'ajustement au niveau de la démographie et du poids des animaux, de la composition des rations et des stocks alimentaires, de l'assolement et des itinéraires culturels et, iii) qui simulent des aléas d'intensités variables sur plusieurs années. Aucun des modèles d'élevage existants ne répond à l'ensemble de ces critères. Nous souhaitons proposer une structure de modèle permettant de prendre en compte les différents critères précédemment cités. Nous nous inspirons pour cela de la proposition de Blanco et Flichman (2002) qui consiste à utiliser une suite récursive d'optimisation d'un modèle multi-périodique pour résoudre un problème dynamique.

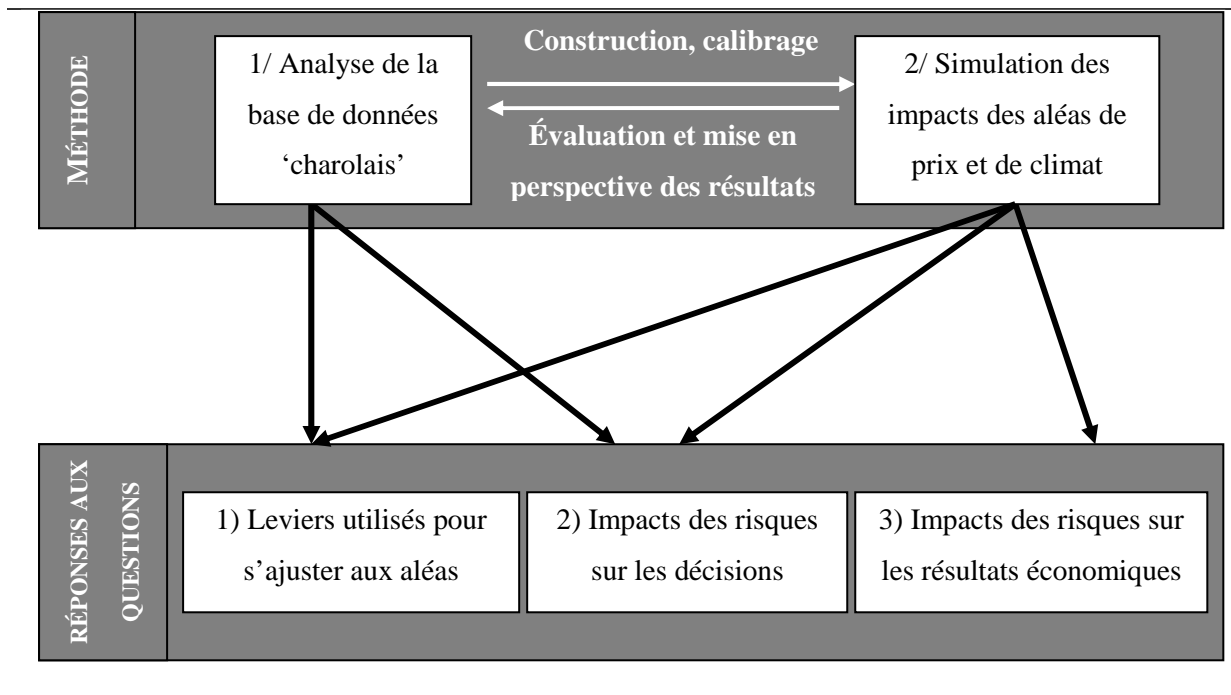
## **3.2. La démarche adoptée dans le travail de recherche**

Pour atteindre nos objectifs, nous avons fait le choix de mettre en oeuvre deux approches. La première consiste à analyser une base de données rassemblant des observations technico-économiques appartenant à un panel d'exploitations spécialisées dans la production de bovins allaitants de race

Charolaise dans le bassin allaitant (nord du Massif Central). La seconde correspond à la construction d'un modèle bioéconomique d'exploitation.

Ces deux approches doivent nous permettre de répondre aux questions posées de façon complémentaire. L'analyse d'une base de données a pour objectifs i) de faire ressortir, à partir d'observations réelles, les impacts de la variabilité des prix et du climat sur le système de production et sur les résultats économiques et ii) d'évaluer l'attitude des éleveurs vis-à-vis des risques. Pour cela, nous procéderons en deux étapes. Nous analyserons dans un premier temps les corrélations entre les aléas (de prix et de climat) et les variables technico-économiques pour 65 exploitations suivies sur 20 ans. Dans un deuxième temps, nous procéderons à l'estimation conjointe de l'attitude des éleveurs vis-à-vis des risques et d'une fonction de production de viande bovine. Il est cependant difficile à partir d'une analyse empirique de prendre en compte les nombreuses interactions qui existent au sein du système. Les modèles économétriques considèrent en effet les processus de production de façon agrégée et l'analyse des corrélations entre les variables technico-économiques et les aléas ne prennent pas en compte les processus de production dans leur globalité. De plus, certaines variables techniques d'importance telles que les stocks de fourrage ne sont pas disponibles dans la base de données.

*Figure 20 : Schématisation de la démarche adoptée*



Afin de comprendre et de simuler plus finement les décisions des éleveurs et leurs implications à court et à long termes sur l'ensemble du système, un modèle d'exploitation en programmation mathématique est développé. Le modèle multi-périodique comprend deux versions : une version déterministe et une version probabiliste. La version déterministe du modèle, plus simple, se focalise sur les processus d'ajustement à des événements non anticipés. Nous simulons grâce à cette

version du modèle des aléas isolés de différentes intensités. Elle permet de répondre aux questions i) sur les types d'ajustements réalisés pour faire face aux aléas de prix et de climat et ii) sur les relations entre les variations de résultats technico-économiques de l'exploitation en fonction de l'intensité d'aléas non anticipés. La version probabiliste du modèle intègre ensuite l'anticipation des risques et l'anticipation que certaines décisions pourront être ajustées. Une suite d'aléas climatiques successifs est simulée sur 50 ans. Nous comparons des scénarios sans anticipation de risques, avec anticipation de risques mais sans aversion au risque, et, avec aversion au risque. Les simulations à partir de ce modèle ont pour objectifs de contribuer à répondre aux questions i) de l'impact des risques sur les décisions des éleveurs, ii) des relations entre les variations de résultats technico-économiques de l'exploitation et les aléas, en fonction des aléas précédents.

Ces deux approches sont complémentaires dans la mesure où différentes étapes de l'élaboration du modèle bioéconomique font appel à l'analyse de données observées. Pour construire un modèle bioéconomique, il est en effet nécessaire de s'appuyer sur un ensemble de connaissances ou d'hypothèses biologiques, techniques et économiques. Dans notre cas, l'analyse de la base de données nous permettra :

- i) de nous assurer que le modèle est correctement construit et calibré. Pour cela, il faut que la fonction objectif utilisée représente correctement l'attitude des éleveurs vis-à-vis des risques. Les activités les plus répandues doivent pouvoir être introduites. Pour calibrer un modèle bioéconomique, il faut également s'assurer que la valeur des paramètres est bien adaptée à l'exploitation modélisée.

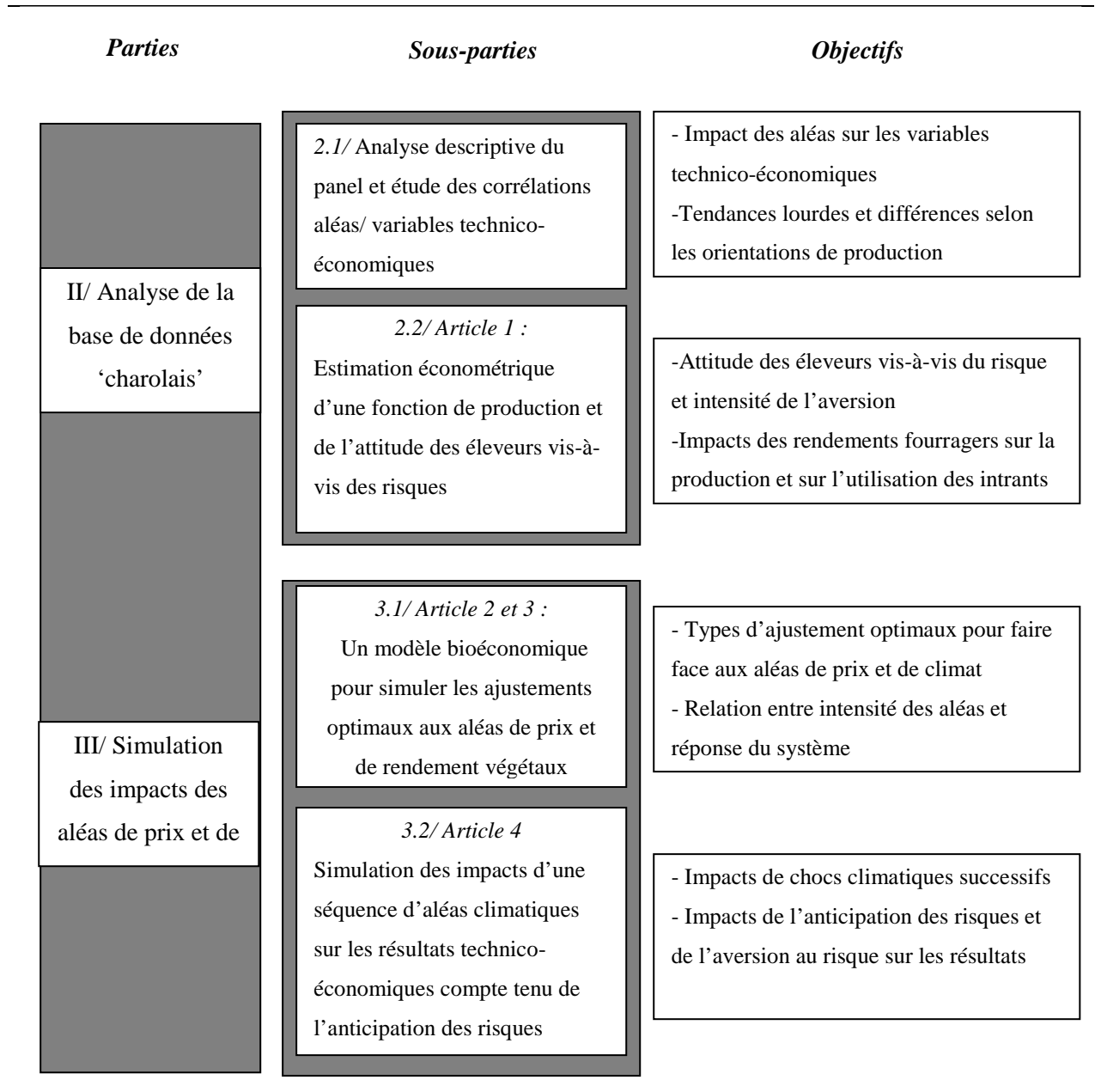
- ii) un retour des résultats des simulations vers l'analyse de la base de données doit nous permettre d'évaluer si les sorties du modèles reflètent les observations pour les années de référence considérées, cela participe à sa validation (Hazell et Norton, 1986). Le modèle de simulation n'est ici appliqué qu'à un seul type d'exploitation de bovins allaitants orienté vers la production d'animaux gras, ceci non seulement par manque de temps mais aussi pour des raisons pratiques. En effet, le modèle, tel qu'il est, simule préférentiellement des taurillons et il aurait fallu introduire de nouvelles contraintes ou interdire cette production pour simuler des systèmes produisant des mâles maigres. Nous avons préféré dans ce travail conserver une large gamme d'adaptations possibles. L'analyse de la base de données donne également l'occasion de mettre en perspective les choix et les résultats des applications des modèles par rapport aux tendances lourdes d'évolution des exploitations dans le temps et par rapport aux autres orientations de production.

### **3.3. Organisation du manuscrit de thèse**

Au-delà de cette introduction générale (partie 1), ce manuscrit dans ses parties 2 et 3 est écrit majoritairement sous forme d'articles soumis à publications ou destinés à être publiés dans des revues scientifiques à comité de lecture international. Ces articles sont organisés autour des deux grandes

approches méthodologiques adoptées. La partie 2 correspond à l'analyse de la base de données. Dans le premier chapitre nous décrivons la base de données utilisée et son évolution. Nous analysons également les corrélations entre aléas de prix et de climat et les variations interannuelles des résultats technico-économiques des exploitations. Dans sa forme actuelle, ce chapitre n'est pas considéré comme un article. Nous envisageons cependant dans un futur proche de le soumettre à une revue française. L'*article 1* soumis à l'*American Journal of Agricultural Economics* fait office de deuxième chapitre. Une fonction de production et l'attitude des éleveurs vis à des risques y sont estimés. La partie 3 rassemble trois articles présentant le modèle de programmation mathématique. Le premier chapitre est dédié à la description, à l'évaluation et à l'application du modèle sous sa version déterministe. Les deux papiers (*article 2 et 3*) présentés dans ce chapitre ont été soumis à *Agricultural Systems*. Le deuxième chapitre est consacré au modèle dans sa version probabiliste. Cet article (*article 4*) n'est pas encore tout à fait finalisé et ne sera soumis qu'après la soutenance de la thèse. Une introduction au début de chacune de ces parties, présente et résume les chapitres. Nous discutons les résultats obtenus et les méthodes utilisées dans la partie 4. Une conclusion et la formulation de perspectives forment la partie 5.

Figure 21 : Organisation du manuscrit de thèse



## *Partie 2:*

---

# *Analyse d'un panel de données technico-économiques d'exploitation de bovins allaitants du bassin Charolais*

---

La deuxième partie de ce manuscrit de thèse comporte deux chapitres. Tous deux s'appuient sur l'analyse de la base de données 'charolais'. Cette base rassemble des données technico-économiques annuelles de 65 exploitations spécialisées dans la production de bovins viande de race Charolaise dans le bassin Charolais. Dans le premier chapitre, la période étudiée comprend les années 1987-2007. Les mêmes données sont utilisées dans l'article présenté dans le second chapitre sans les données des années 2006 et 2007 (elles n'étaient pas disponibles lorsque les analyses ont été effectuées). Le code SAS des modèles statistiques et économétriques est donné dans l'ANNEXE 9 et dans l'ANNEXE 10.



---

## ***Partie 2.1:***

# Analyse descriptive de la base de données et des corrélations entre aléas et résultats technico- économiques

---

### ***Table des matières de la partie 2.1***

---

1.	<i>Introduction</i>	37
2.	<i>Présentation de la base de données</i>	37
2.1.	Les variables de la base de données et leur source	37
2.2.	Positionnement de notre panel par rapport aux exploitations de bovins viande du Bassin Charolais	38
2.3.	Les principales productions des exploitations de notre panel	40
3.	<i>Méthodes d'analyses retenues</i>	41
3.1.	Classification des exploitations selon leurs orientations de production	41
3.2.	Analyse de variance selon les orientations de production	42
3.3.	Analyse des corrélations entre les variations interannuelles des variables technico-économiques et les aléas de prix et de climat	43
4.	<i>Résultats</i>	45
4.1.	Caractéristiques technico-économiques des exploitations selon leurs orientations de production et analyse des tendances	45
4.2.	Impacts des aléas de prix et de rendement sur les variables technico-économiques des exploitations	52
5.	<i>Synthèse des résultats et conclusion</i>	59

## Résumé de la partie 2.1 : « Analyse descriptive de la base de données et des corrélations entre aléas et résultats technico-économiques »

Ce premier chapitre procède à une analyse descriptive des données technico-économiques du panel en fonction des orientations de production des exploitations et étudie les corrélations entre aléas et variations interannuelles des indicateurs technico-économiques. Ses objectifs sont 1) de resituer les systèmes de production orientés vers la production de mâles gras (cf simulations de la partie 3) par rapport aux autres types d'exploitation et par rapport à leur trajectoire d'évolution, et, 2) de mettre en évidence les corrélations entre les aléas de prix et de climat, et, les variations interannuelles des indicateurs technico-économiques à partir d'observations réelles.

Trois classes d'exploitation ont été définies en fonction de leur orientation de production : la première produit des broutards maigres avec un chargement élevé, la seconde produit des broutards maigres avec un chargement faible et la troisième engraisse les mâles. Les principaux résultats mettent en lumière que les exploitations orientées vers la production de mâles gras ont des caractéristiques techniques proches des exploitations produisant des broutards maigres de façon intensive. Ces exploitations ont des revenus à l'hectare plus élevés que les éleveurs de broutards maigres, ce qui peut expliquer pourquoi la production de taurillons apparaît optimale dans les simulations réalisées dans la partie 3. Ramené au travailleur, les revenus ne sont cependant pas significativement différents des autres orientations de production. Les exploitations se sont beaucoup agrandies, quelque soit l'orientation de production considérée, grâce à une augmentation de la productivité du travail. Elles ont intensifié la conduite du troupeau et relativement extensifié celle des surfaces fourragères. Ces tendances sont cependant à nuancer selon les orientations de production. Les systèmes de production semblent diverger : les exploitations les plus extensives qui s'orientent vers davantage d'extensification (cas des élevages produisant des broutards maigres avec un chargement faible) et les plus intensives qui s'intensifient (cas des élevages produisant des broutards maigres avec un chargement élevé). L'analyse des corrélations a révélé que les principaux modes d'ajustement de la production aux aléas de climat étaient l'augmentation de la consommation de concentré, l'achat d'aliments grossiers et la surface de fauche. Un mode d'ajustement aux aléas de prix défavorables (surtout aux crises ESB) est la repousse de la vente des animaux et donc l'augmentation du taux d'engraissement.

## **1. Introduction**

Les exploitations de bovins allaitants doivent non seulement s'adapter aux évolutions du contexte politique et économique mais aussi faire face aux conditions conjoncturelles : les prix et les conditions climatiques fluctuent selon les mois et les années (nous appelons ici ces fluctuations interannuelles 'aléas'). La difficulté pour les éleveurs est alors de déterminer comment combiner des décisions stratégiques dans les choix du système de production et de son évolution sur les moyen et long termes, et, des décisions tactiques pour ajuster ce système à court terme, en fonction de la conjoncture.

De nombreuses études se sont penchées sur les évolutions structurelles, économiques et techniques des exploitations (Liénard et al., 2002 ; Borzeix, 2002 ; Veysset et al., 2004 ; Veysset et al., 2005b ; Réseau d'Élevage Charolais, 2007). Certaines ont cherché à expliquer les déterminants des revenus en fonction des orientations de production (Liénard et Lherm, 1986 ; Veysset et al., 2005b) ou de la taille des exploitations (Bébin et al., 1995 ; Veysset et al., 2004). Cependant, ces analyses ne prennent d'une part pas en compte les données ultérieures à 2005 et, d'autre part, ne comparent pas les évolutions de ces systèmes en fonction des orientations de productions. De plus, si certaines études ont analysé l'impact d'aléas de prix (Veysset et al., 2002) ou de climat (Veysset et al., 2007), elles ne s'intéressent qu'à des évènements ponctuels (crises ESB, sécheresse 2003) ne s'appuient pas sur des analyses statistiques.

Dans un premier temps, nous proposons de déterminer si les orientations de production des exploitations sont liées aux caractéristiques techniques et économiques des exploitations et si ces caractéristiques ont évolué différemment selon ces orientations de production. Nous voulons également mettre en évidence dans un deuxième temps les ajustements réalisés par les éleveurs pour faire face aux aléas de prix et de climat à partir d'observations réalisées sur 20 ans et vérifier si leurs résultats économiques sont sensibles aux aléas.

## **2. Présentation de la base de données**

### **2.1. Les variables de la base de données et leur source**

#### *2.1.1. Un panel de variables technico-économiques extraites de la base de données 'charolais' de l'INRA de Theix*

Dans les années 1970, l'équipe du LEE (Laboratoire d'Économie de l'Élevage) a mis en place des réseaux d'observation technico-économiques des élevages dans le bassin allaitant pour les races salers, charolaise et limousine. Étant donnée la grande quantité de travail nécessaire pour récupérer les informations et alimenter des suivis de bases de données d'exploitations, seul le réseau 'charolais' est encore actif. Nous avons extrait les variables de 65 exploitations spécialisées dans la production de

bovins de race Charolaise suivies sur la période 1987-2007 (l'échantillon est constant sur la période 1989-2005). Les éléments renseignés comprennent des variables technico-économiques suivantes :

- comptables : produits des ventes, aides, charges de structure, charges proportionnelles, emprunts, charges locatives etc.
- zootechniques : taille et composition du troupeau, trajectoires individuelles des animaux (date de naissance, date de vêlage, date et poids à la vente)
- agronomiques : assolement, rendement des céréales, nombre de fauche et mode de conservation de l'herbe fauchée (ensilage, enrubannage, foin).
- prix de vente des animaux et des céréales

### *2.1.2. Des rendements des prairies extraites de la base d'Agreste*

Dans le panel de données technico-économiques précédent, les rendements des fourrages produits ne sont pas renseignés. Nous avons donc ajouté des variables de rendement des surfaces fourragères estimées par Agreste, l'organe de statistique du ministère de l'agriculture et de la pêche. Les données sont disponibles en ligne sur le site du ministère de l'agriculture<sup>4</sup>. Les rendements sont fournis par département et sont exprimés en quintaux de matières sèches à l'hectare. Pour le maïs, les rendements correspondent à la biomasse récoltée, et pour les prairies, la biomasse (récoltée et sur pied) est évaluée à l'aide du modèle ISOP complété par l'avis d'experts locaux. Cet indicateur permet d'estimer les variations interannuelles et les différences de potentiel agronomique entre départements.

## **2.2. Positionnement de notre panel par rapport aux exploitations de bovins viande du Bassin Charolais**

### *2.2.1. Le bassin allaitant Charolais*

Le bassin allaitant Charolais comprend 41% de l'effectif total des vaches Charolaises françaises. Dans le noyau central de ce bassin qui s'étale du département de la Creuse à celui de Saône et Loire (Figure 22), 8 exploitations sur 10 sont spécialisées dans la production de bovins viandes. L'élevage y représente 41 % de la dimension économique agricole dans l'Allier, 34 % dans la Nièvre et 29 % en Saône-et-Loire (Agreste Primeur, 2002). Les surfaces fourragères y couvrent 90% de la SAU (Dussol, 2003).

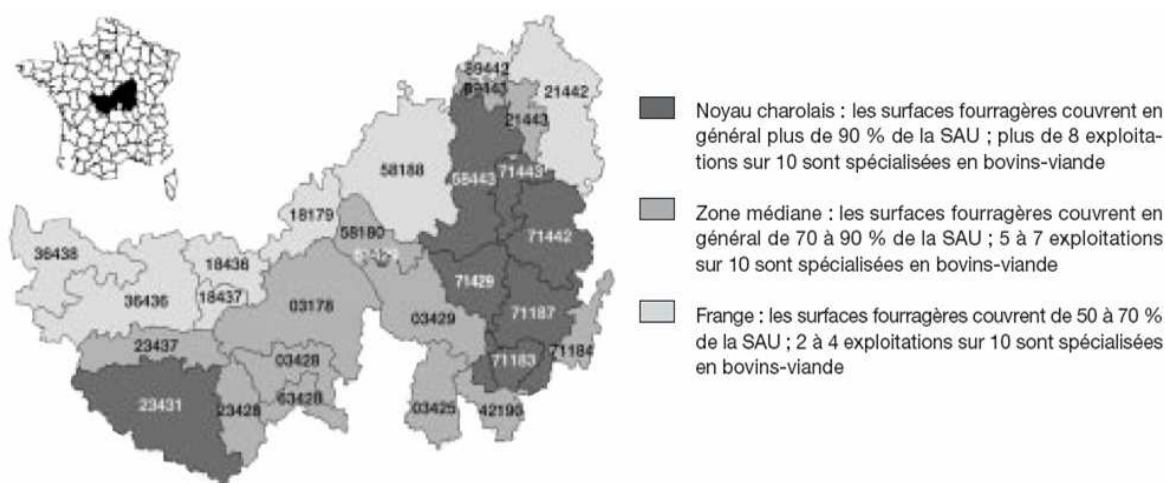
Le climat du bassin charolais évolue d'un climat océanique dégradé à l'ouest vers un climat continental à l'est. L'altitude est globalement peu élevée. Le relief oscille entre plaines légèrement vallonnées dans le bourbonnais ou le Brionnais (ne dépassant guère 500 m d'altitude), et moyennes montagnes pouvant avoisiner les 800-900 m dans l'Autunois et le Morvan (Saône et Loire). Les sols

---

<sup>4</sup> [http://agreste.maapar.lbn.fr/ReportFolders/ReportFolders.aspx?CS\\_referer=&CS\\_ChosenLang=fr](http://agreste.maapar.lbn.fr/ReportFolders/ReportFolders.aspx?CS_referer=&CS_ChosenLang=fr)

sont très diversifiés de par la nature de la roche mère (calcaire, marnes et granites, etc), de leur profondeur et de leur type (hydromorphe, séchant, etc.). La majorité de ce bassin est classée en zone agricole défavorisée ‘simple’ (ANNEXE 1), ce qui correspond au premier niveau d’indemnité de l’ICHN (Indemnité compensatoire de handicaps naturels).

Figure 22: Les trois zones dans le Bassin charolais



Source : RGA 2000, Dussol, 2003

### 2.2.2. Comparaison des principales caractéristiques des exploitations du panel en 2006 avec les statistiques officielles

Le bassin allaitant est caractérisé par des exploitations plus grandes que celles de la moyenne nationale (Tableau 7). Ce différentiel est encore plus grand entre le niveau national et les exploitations de notre échantillon. Les concepteurs du réseau ‘charolais’ avaient initialement sélectionné dans les années 70 des exploitations qu’ils jugeaient performantes, ce qui était pour eux un gage de longévité (l’objectif était de faire un suivi longue durée de ces exploitations). Ramenés au nombre de travailleur par exploitation, la Surface Agricole Utile (SAU) et le nombre d’Unités Gros Bovins (UGB) de notre panel sont finalement très proches de celles du RICA-Bourgogne.

Les surfaces fourragères et plus particulièrement les surfaces toujours en herbe occupent une place plus importante de la SAU chez les exploitations spécialisées dans la viande bovine en Bourgogne qu’au niveau national. La part de la Surface Toujours en Herbe (STH) dans l’OTEX 42 de la Bourgogne est également bien plus grande que celle du Limousin (45%) et de l’Auvergne (65%) qui font partiellement partie du bassin allaitant Charolais. La Bourgogne semble ainsi être une région un peu exceptionnelle. La part de la STH dans la SAU dans notre échantillon se rapproche plus de la

moyenne nationale. Le chargement bovin est à peu près équivalent entre le RICA France, le RICA Bourgogne et notre panel.

Tableau 7: Comparaison des caractéristiques de l'échantillon et de l'OTEX 42 du RICA pour l'année 2006

	RICA-France*	RICA-Bourgogne*	Panel étudié**	
SAU/ea	88	113	162	(72)
UTH/ea	1,32	1,47	2,05	(0,8)
UGB bovin	100	127	164	(81)
SAU/UTH	67	77	79	(21)
UGB/UTH	76	86	80	(20)
SFP/SAU	86%	92%	81%	(14)
STH/SAU	54%	81%	54%	(25)
maïs/SAU	3%	1%	2%	(2)
chargement	1,3	1,2	1,2	(0,2)

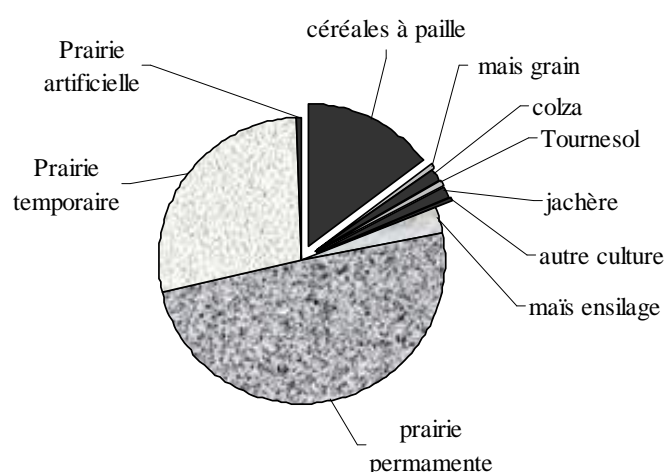
\*Source : RICA 2006 pour l'OTEX 42

\*\* 64 observations par variable, écart type entre parenthèses

### 2.3. Les principales productions des exploitations de notre panel

La surface agricole utilisable par les exploitations étudiées se répartit pour plus des trois quarts entre prairies permanentes et prairies temporaires (Figure 23). A ces surfaces fourragères viennent s'ajouter le maïs fourrager et les prairies artificielles (comme la luzerne) qui sont négligeables dans les systèmes étudiés. Parmi les cultures non fourragères, les céréales à paille dominent largement. Ces céréales fournissent paille et grain pour le troupeau et peuvent être facilement mises sur le marché

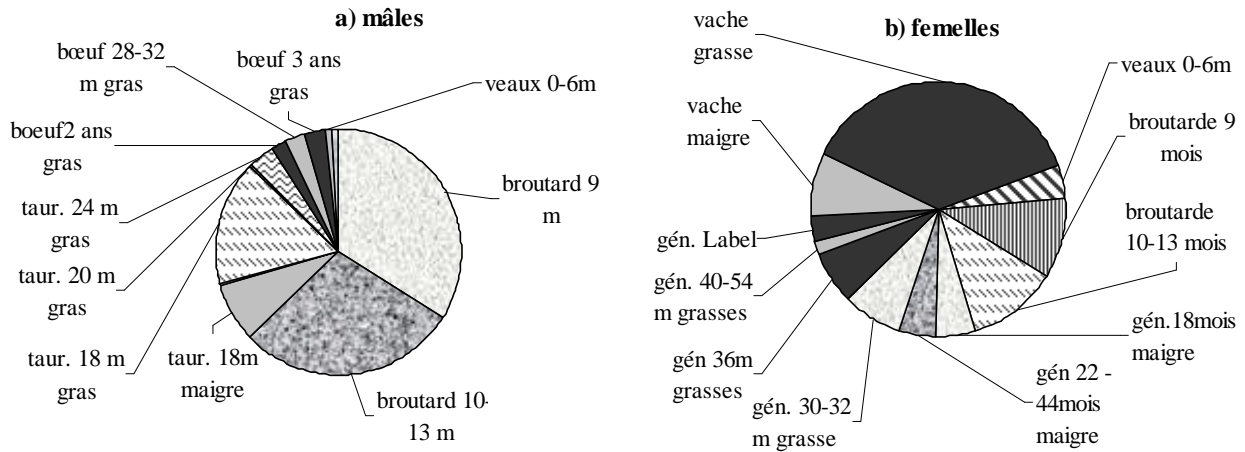
Figure 23 : Répartition de la SAU de notre échantillon entre les différentes cultures en 2006



Divers types d'animaux sont vendus (Figure 24). Les ventes de mâles sont dominées par les broutards (de 9 à 13 mois) qui représentent les deux tiers. Les ventes de taurillons gras de 18 mois

viennent juste après. Pour les femelles, la première production en nombre de têtes vendues est la vache de réforme, majoritairement engraisée. Les ventes de veaux femelles et de broutardes regroupent ensuite à peu près un tiers des ventes et les génisses grasses de 30 à 40 mois, un quart.

Figure 24 : Répartition des ventes selon le type d'animaux vendus en 2006



### 3. Méthodes d'analyses retenues

#### 3.1. Classification des exploitations selon leurs orientations de production

Afin de former des sous-groupes au sein de notre échantillon en fonction de leur orientation de production, nous avons réalisé une Classification Ascendante Hiérarchique<sup>5</sup> (CAH) à partir de deux critères :

- la part des mâles engraisés
- le chargement

Trois classes ont été formées. Les deux premières, assez homogènes au vue des deux critères retenus (la variance intra classe est relativement faible comparativement à la variance interclasse) correspondent à des exploitations produisant principalement des mâles maigres : la première avec un chargement élevé et la seconde avec un chargement faible. La troisième classe produit davantage de mâles gras avec un chargement intermédiaire (Tableau 8).

Tableau 8 : Résultats de la CAH

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Total
Effectif	15	25	25	65
Variance intra-classe/ variance inter classe	11%	5%	41%	60%
Distance au centre de gravité 'part des mâles engraisés'	-0,6	-0,8	1,2	

<sup>5</sup> logiciel *xlstat* version 7

(barycentre de la classe) 'chargement' 1,0 -0,7 0,1

\* classification réalisées à partir de distance euclidienne entre chaque couple d'individus. L'agrégation se fait de façon à minimiser la variance interne des classes et à maximiser la variance entre les classes (indice de Ward).

Ce classement est un peu déséquilibré par département. La production de mâles maigres est plus répandue dans les exploitations localisées dans la Nièvre et la Saône et Loire, à l'est du bassin charolais tandis que la finition de mâle est plus fréquente dans celles localisées à l'ouest de ce bassin (Tableau 9).

Tableau 9: Ventilation des effectifs en fonction des départements

	Saône et Loire	Nièvre	Puy de Dôme - Allier	Creuse	total
Classe 1	4	10	0	0	15
Classe 2	3	15	0	7	25
Classe 3	1	4	7	13	25
Effectif total	8	29	7	21	65

### 3.2. Analyse de variance selon les orientations de production

Les caractéristiques moyennes des exploitations et leur accroissement moyen ont été estimés par des analyses de variance ANOVA en mesures répétées réalisées sous SAS version 8. Ce type de modèle considère une variance hétérogène par rapport au temps (Littel et al., 1998). La structure de la variance choisie pour chaque estimation correspond à celle qui minimise le critère BIC (Shwartz, 1978). La plupart du temps la structure de covariance retenue est « autorégressive d'ordre 1 » qui suppose que plus les données sont proches dans le temps et plus leurs corrélations sont fortes (Littel et al., 1996).

Les modèles peuvent être formulés de la façon suivante :

$$Y_{i,t,classe} = \mu + \alpha_{classe} + \varepsilon_{i,t,classe} \quad (1)$$

$$Y_{i,t,classe} = b_{classe} + c_{classe} \times \text{années} + \varepsilon_{i,t,classe} \quad (2)$$

avec  $Y$  la variable observée ; *Années* : une variable quantitative ;  $i$ ,  $t$ , classe les indice correspondant respectivement à l'exploitation, l'année et la classe ;  $\alpha$  : un effet fixe lié à la classe ;  $\mu$ ,  $b$  : moyenne globale ;  $c$  : un effet fixe du temps, équivalent au taux d'accroissement ;  $\varepsilon$  : erreur aléatoire.

Le test de Tukey nous permet d'estimer si les variances entre les moyennes estimées ' $a_{classe}$ ' sont significativement différentes.

### **3.3. Analyse des corrélations entre les variations interannuelles des variables technico-économiques et les aléas de prix et de climat**

Les séries chronologiques sont caractérisées 1) par une tendance générale qui représente leur évolution à moyen et long termes et 2) par une variabilité autour de cette tendance qui correspond aux fluctuations interannuelles. Ces fluctuations interannuelles peuvent être calculées comme étant l'écart entre les valeurs réelles et la tendance. Nous avons estimé la tendance par une moyenne mobile<sup>6</sup> sur cinq années. De nouvelles variables ont ensuite été introduites dans la base de données. Elles ont été calculées sur la période 1989-2005 à partir des variables originales définies sur la période 1987-2007 (la moyenne mobile ne peut être calculée sur les deux premières et les deux dernières valeurs de la série chronologique).

Trois indicateurs correspondant aux aléas sont définis. Pour l'aléa de prix de la viande bovine, nous avons considéré les variations interannuelles du prix moyen au kg vif perçu par chaque éleveur. Pour les aléas climatiques sur les rendements, nous avons retenu deux indicateurs : le premier retrace les variations interannuelles du rendement global des surfaces fourragères par département (ce sont les productions dominantes dans les exploitations considérées), le second, moyenne la variation de rendement de l'année en cours avec celle de l'année précédente. Ce dernier indicateur a pour but de tester si les aléas climatiques ont des effets non seulement sur l'année en cours mais aussi sur l'année suivante. Les variations de ces indicateurs ont été centrées et réduites<sup>7</sup> de façon à s'affranchir des problèmes d'échelle (Figure 25). Les variations de rendements et de prix moyens de bovins selon les trois classes d'exploitation identifiées par la CAH sont très proches (Figure 26, Figure 27) avec cependant un impact de la sécheresse de 2003 sur les rendements moins importants pour la classe 3, dû au fait que dans l'ouest du Bassin Charolais, la sécheresse a été moins forte (voir ANNEXE 4 pour une description de ces aléas).

---

<sup>6</sup> Une moyenne mobile sur 5 ans remplace chaque observation par la moyenne des valeurs de la variable étudiée correspondant aux deux années précédant l'observation, à l'année de l'observation et aux deux années suivantes.

<sup>7</sup> Une variable centrée et réduite a une moyenne de 0 et d'écart type de 1

Figure 25 : Variations interannuelles centrées-réduites des rendements des cultures et des prix de la viande bovine

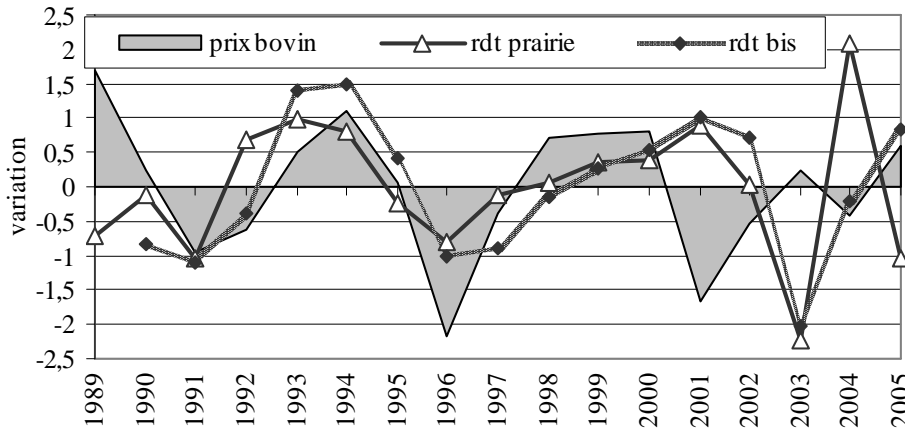


Figure 26 : Indicateur des variations interannuelles moyennes de rendement de la SFP par département selon les classes

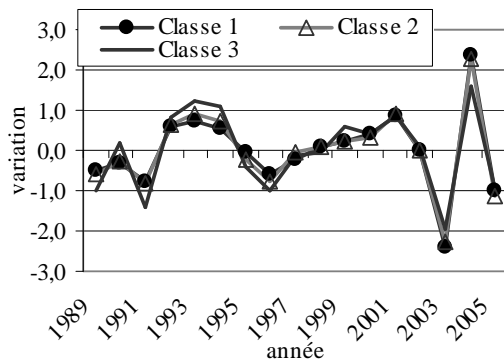
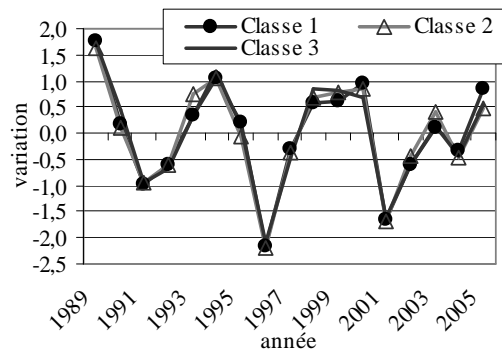


Figure 27 : Indicateur des variations interannuelles moyennes du prix de bovins par exploitation selon les classes



Note 'rdt' signifie rendement, le rendement bis correspond à la moyenne des variations du rendement de l'année en cours et de celui de l'année précédente

## **4. Résultats**

### **4.1. Caractéristiques technico-économiques des exploitations selon leurs orientations de production et analyse des tendances**

#### *4.1.1. Le troupeau et le chargement*

Les classes d'exploitation se discriminent par construction sur des critères de chargement et de part des mâles engraisés. Avec plus des deux tiers des mâles engraisés sur la période 1987-2007, la classe 3 peut être considérée comme représentant des élevages de naisseur- engraisseur et les deux autres classes comme des élevages naisseurs. Le niveau de chargement de la classe 1 est élevé par rapport au taux de chargement habituellement observé dans le bassin charolais (Tableau 10). La classe 2 est celle qui apparaît comme étant la plus différente des trois, avec un plus faible taux d'engraissement, des quantités produites par UGB inférieures (à la classe 3), et des ventes de viande à l'hectare (en kg vif) plus faibles. C'est également la classe pour laquelle le taux de réforme est le plus faible et la distribution d'aliments concentrés par UGB la plus modeste. Elle a une conduite du troupeau que l'on peut qualifier de plus extensive par rapport à l'animal que les deux autres. Les classes 1 et 3 ont des résultats peu différents, probablement parce que la classe 1 est un intermédiaire entre 2 et 3. Les vêlages de l'ensemble des classes sont centrés sur la mi-février.

La production de ces exploitations a évolué au cours des 20 dernières années. La finition des mâles a chuté, quelque soit la classe considérée, à une vitesse moyenne d'un peu plus de 1% par an (ces moyennes cachent cependant des disparités entre les trajectoires d'évolution des exploitations puisque l'on trouve dans notre panel des exploitations qui n'engraissaient pas les mâles en 1987 et qui en engraisent désormais et inversement). Cette baisse s'est amorcée dans la classe 1 seulement à partir des années 2000 (Figure 28a). La diminution de la durée de séjour des animaux sur l'exploitation a certainement été un levier utilisé pour diminuer le chargement afin de s'aligner sur des seuils de chargement plus stricts. Cette baisse de chargement à partir de 2001 s'est faite sentir pour toutes les classes (Figure 28b), et de façon encore plus accentuée pour les exploitations de la classe 1 (le chargement semble cependant de nouveau en hausse depuis 2005).

Tableau 10 : Chargement et caractéristiques du troupeau sur la période 1987-2007 selon les orientations de production

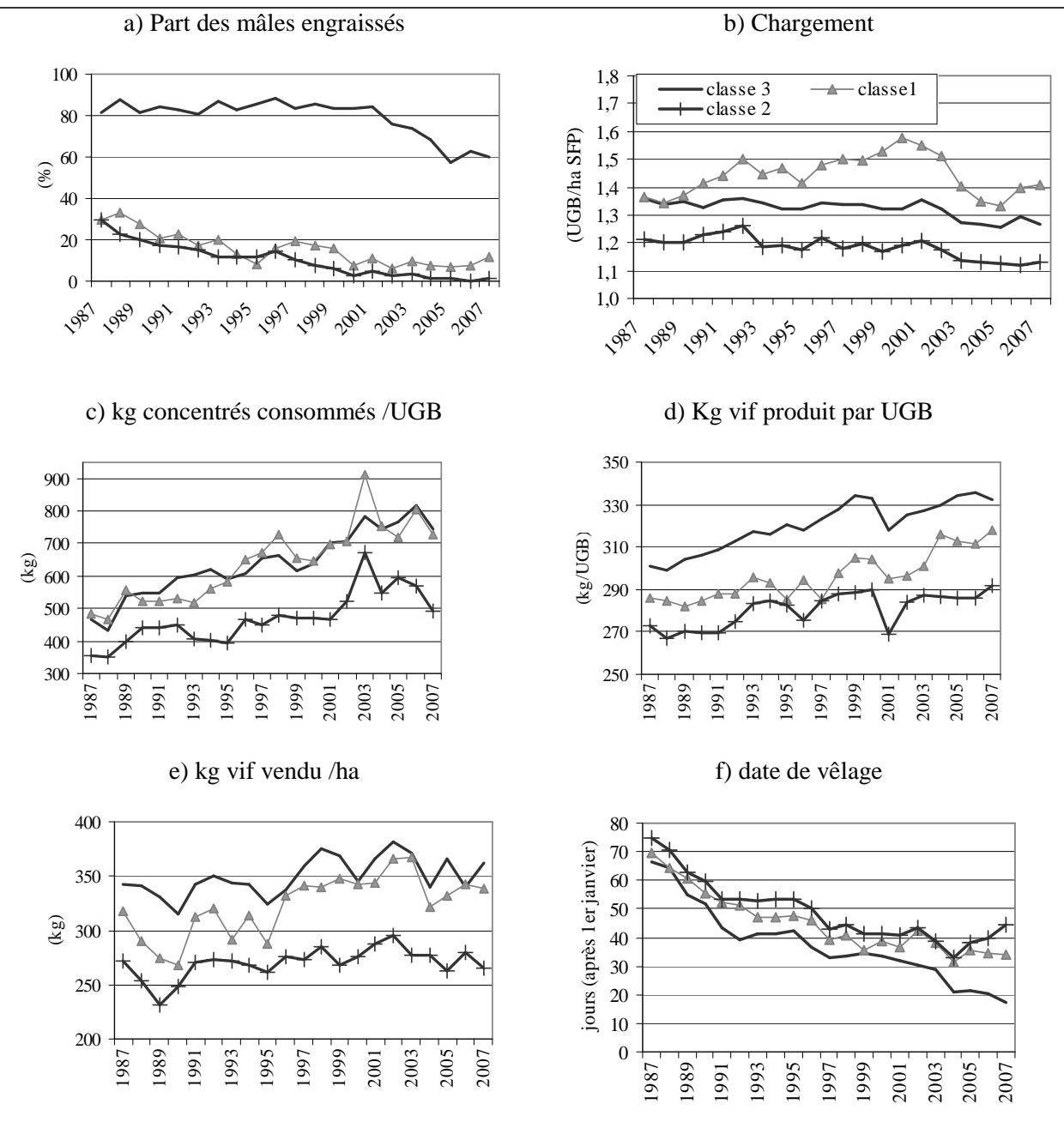
		Classe 1		Classe 2		Classe 3	
<b>Chargement</b>	Moyenne (UGB/ha SFP)	<b>1,42<sup>a</sup></b>	(0,03)	<b>1,18<sup>b</sup></b>	(0,02)	<b>1,31<sup>c</sup></b>	(0,02)
	Accroissement (UGB/ha SFP/an)	/	/	-0,0004	(0,0001)	/	/
<b>Part de mâles engraisés</b>	Moyenne (%)	<b>17<sup>a</sup></b>	(5)	<b>12<sup>a</sup></b>	(4)	<b>77<sup>b</sup></b>	(4)
	Accroissement (%/an)	-1	(0,5)	-1,5	(0,4)	-1,2	(0,4)
Part de génisses engraisées	Moyenne (%)	36 <sup>a</sup>	(4)	22 <sup>b</sup>	(3)	63 <sup>c</sup>	(3)
	Accroissement (%/an)	/	/	/	/	/	/
kg de viande vendues /ha	Moyenne (kg vif)	326 <sup>a</sup>	(12)	270 <sup>b</sup>	(10)	350 <sup>a</sup>	(10)
	Accroissement (kg/an)	/	/	/	/	/	/
Kg de viande /UGB	Moyenne (kg vif)	299 <sup>ab</sup>	(7)	281 <sup>a</sup>	(5)	319 <sup>b</sup>	(5)
	Accroissement (kg/an)	1,6	(0,8)	/	/	1,6	(0,5)
Kg concentré /UGB	Moyenne (kg)	631 <sup>a</sup>	(33)	459 <sup>b</sup>	(25)	634 <sup>a</sup>	(25)
	Accroissement (kg/an)	15	(4)	9	(3)	14	(4)
Réforme (%)	Moyenne (%)	24 <sup>a</sup>	(1)	21 <sup>b</sup>	(1)	22 <sup>a</sup>	(1)
	Accroissement (%/an)	0,47	(0,01)	0,13	(0,06)	0,16	(0,06)
Date de vêlage	Moyenne (date)	19 fév. <sup>a</sup>	(7 j)	24 fév. <sup>a</sup>	(6 j)	10 fév. <sup>a</sup>	(6 j)
	Accroissement (jour/an)	-1,7	(0,4)	-1,7	(0,4)	-2,6	(0,4)

Notes : Entre parenthèses : écart type ; Tous les paramètres indiqués sont significativement différent de 0 au seuil de 5%  
a,b,c : Sur la même ligne, les valeurs ayant en exposant des lettres différentes indiquent que les classes sont significativement différentes au seuil de 5% ; Pour chaque variable : N=1253

La quantité de concentré par UGB et kilos vifs de viande produits par UGB augmentent très nettement pour les classes 1 et 3, avec, sur les 20 dernières années, une augmentation de 50% des quantités de concentré consommées (environ 470 kg par UGB en 1987 vs 730 kg/UGB en 2007) pour une augmentation des quantités de viande produite par UGB de l'ordre de 30kg en 20 ans (soit 10% d'augmentation). Ces consommations élevées de concentré pour les classes 1 et 3, supérieures à 700 kg à partir du début des années 2000, sont proches des moyennes des naisseurs-engraisseurs de taurillons observés en France par Normand (2006) : le système de broutards lourds s'apparentant ainsi à celui des taurillons gras. Pour la classe 2, cette quantité, autour de 550 kg, correspond à celle relevé en moyenne pour les systèmes naisseur dans le même travail (Normand, 2006).

L'écart se creuse entre les classes 1 et 2 vers la fin des années 1990 : les quantités de viande produites par UGB ou vendues par hectare de la classe 1 semblent décoller pour se rapprocher des niveaux de la classe 3 des naisseurs-engraisseurs (Figure 28d, e).

Figure 28 : Évolution des variables zootechniques sur la période 1987-2007 selon les orientations de production



La date de vêlage a avancé de près d'un mois pour l'ensemble des exploitations, pour être centrée, en 2007, autour du 1<sup>er</sup> février. Depuis 2004, les tendances divergent : les éleveurs naisseurs-engraisseurs de la classe 3 continuent d'avancer leur date de vêlage alors que les éleveurs de 'broutards peu chargés' de la classe 2 la recule (Figure 28f). Ces derniers choisissent ainsi de faire correspondre la période de lactation des vaches, période où les besoins énergétiques sont les plus importants, à la période de mise à l'herbe.

Les tendances lourdes observées sur ces différents indicateurs techniques semblent conclure que ces exploitations vont globalement vers une intensification de la conduite du troupeau (des rations plus énergétiques, davantage d'aliments distribués à l'auge, des animaux vendus plus lourds ...), ce qui confirme les observations du Réseau d'Élevage Charolais (2007). Cette tendance est particulièrement affirmée pour les exploitations de la classe 1 ('naisseurs chargés ') qui ont une gestion déjà presque aussi intensive du troupeau que les éleveurs naisseurs-engraisseurs, alors que les éleveurs de la classe 2 ('naisseurs peu chargés') semblent aller vers une extensification plus prononcée.

#### 4.1.2. Les productions végétales

La 'classe 2' apparaît ici aussi comme la plus extensive avec significativement moins de maïs dans la SAU que les autres et des indicateurs de fertilisation, de rendement et de surfaces fauchées parmi les plus faibles (Tableau 11). La 'classe 1', est à l'opposé la plus intensive. Elle produit des céréales avec un rendement plus élevé (multiplié par 1,2) que les autres sans doute grâce à une fertilisation plus importante (différence significative avec la classe 2 au seuil de 5%).

Tableau 11: Caractéristiques du système cultural sur la période 1987-2007 selon les orientations de production

		Classe 1		Classe 2		Classe 3	
Céréales /SAU	Moyenne (%)	22 <sup>a</sup>	(3)	16 <sup>a</sup>	(2)	15 <sup>a</sup>	(3)
	Accroissement (%/an)	/	/	/	/	/	/
Prairie /SAU	Moyenne (%)	75 <sup>a</sup>	(3)	82 <sup>a</sup>	(3)	80 <sup>a</sup>	(3)
	Accroissement (%/an)	/	/	0,29	(0,12)	0,21	(0,10)
Maïs /SAU	Moyenne (%)	4 <sup>a</sup>	(0,6)	2 <sup>b</sup>	(0,4)	5 <sup>a</sup>	(0,4)
	Accroissement (%/an)	-0,12	(0,05)	-0,15	(0,03)	-0,16	(0,3)
Rendement des céréales	Moyenne (qtx MS/ha)	57 <sup>a</sup>	(2)	48 <sup>b</sup>	(2)	50 <sup>b</sup>	(2)
	Accroissement (qtx/an)	/	/	/	/	/	/
Azote /ha SFP	Moyenne (unité)	42 <sup>a</sup>	(4)	26 <sup>b</sup>	(3)	35 <sup>ab</sup>	(3)
	Accroissement (unité/an)	/	/	-0,9	(0,3)	/	/
Ha fauchée/ha herbe	Moyenne (%)	56 <sup>ab</sup>	(3)	53 <sup>a</sup>	(3)	64 <sup>b</sup>	(3)
	Accroissement (%/an)	0,01	(0,004)	0,01	(0,003)	0,01	(0,003)

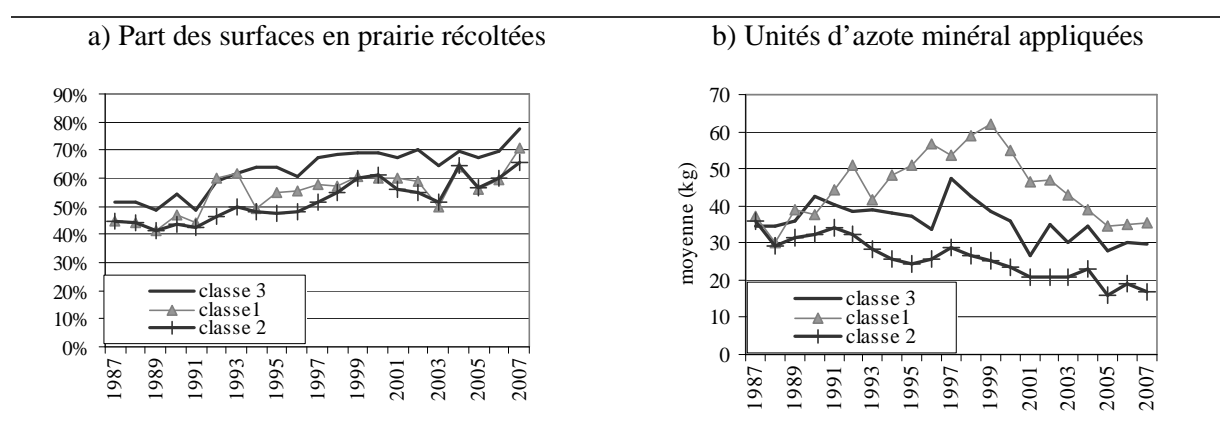
Notes : Entre parenthèses : écart type ; Tous les paramètres indiqués sont significativement différent de 0 au seuil de 5%  
a,b,c : Sur la même ligne, les valeurs ayant en exposant des lettres différentes indiquent que les classes sont significativement différentes au seuil de 5% ; Pour chaque variable : N=1253

Le nombre d'hectares de prairie fauchée par rapport au nombre total d'hectares de prairie a beaucoup augmenté au cours des deux dernières décennies passant de 45% au début de la période à 65% (Figure 29a). Les exploitations de la classe 2 semblent aller vers une extensification plus

prononcée avec une diminution des applications d'azote minéral sur la SFP. La classe 1, après une forte augmentation des applications d'apports d'azote jusqu'au début des années 2000 est revenue au niveau d'application de la fin des années 1980 (Figure 29b).

Comme l'avait mis en évidence Dussol (2003), les éleveurs ne vont pas vers une 'céréalisation' de la production végétale. Comme l'avait déjà souligné Réseau d'Elevage Charolais (2007), nous n'observons pas non plus d'intensification de la production de cultures fourragères. Au contraire, les surfaces en maïs fourragers et les applications d'azote ont diminué. Cette tendance est encore plus marquée pour les exploitations de classe 1.

Figure 29 : Évolution des variables de la part des surfaces récoltées (a) et des applications azotées (b) sur la période 1987-2007 selon les orientations de production



#### 4.1.3. Caractéristiques structurelles des exploitations

Les caractéristiques structurelles des exploitations ne se discriminent pas entre classes. Il existe une forte hétérogénéité au sein de celles-ci (Tableau 12). Les caractéristiques structurelles de l'exploitation semblent donc, dans cet échantillon, être indépendantes de l'orientation de production.

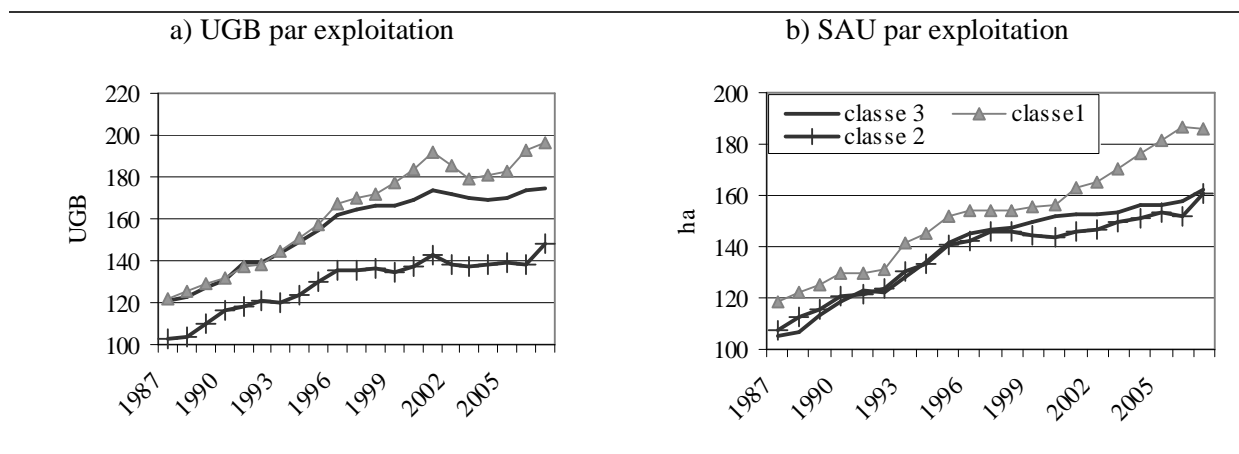
Ces exploitations ont globalement toutes connu une tendance à l'agrandissement de la SAU et du troupeau sans que la main d'œuvre disponible augmente. On observe ainsi qu'un peu moins de 60 hectares ont été ajoutés aux 105 hectares de SAU initiaux des classes 2 et 3, presque 70 hectares de SAU se sont greffés aux 115 hectares de la classe 1. Cette tendance à l'agrandissement du troupeau s'est cependant ralentie depuis la seconde moitié des années 1990 (Figure 30a). L'évolution des surfaces est comparable à celle de la taille du troupeau. Seule la classe 1 maintient un fort taux de croissance certainement dans l'objectif de diminuer le chargement

Tableau 12 : Caractéristiques structurelles sur la période 1987-2007 selon les orientations de production

		Classe 1		Classe 2		Classe 3	
SAU/exploitation	Moyenne	149 <sup>a</sup>	(6)	132 <sup>a</sup>	(3)	136 <sup>a</sup>	(13)
(ha)	accroissement	3	(0,6)	2,2	(0,5)	2,8	(0,4)
UTH /exploitation	Moyenne	2,1 <sup>a</sup>	(0,2)	1,9 <sup>a</sup>	(0,1)	2,2 <sup>a</sup>	(0,1)
	accroissement	/	/	/	/	/	/
UGB/exploitation	Moyenne	155 <sup>a</sup>	(18)	123 <sup>a</sup>	(14)	149 <sup>a</sup>	(14)
	accroissement	3,4	(0,5)	1,9	(0,4)	2,7	(0,4)

Notes : Entre parenthèses : écart type ; Tous les paramètres indiqués sont significativement différent de 0 au seuil de 5%  
a,b,c : Sur la même ligne, les valeurs ayant en exposant des lettres différentes indiquent que les classes sont significativement différentes au seuil de 5% ; Pour chaque variable : N=1253

Figure 30 : Évolutions de la taille du troupeau (a) et de la surface par exploitation (b) entre 1987 et 2007, selon les orientations de production



#### 4.1.4. Caractéristiques économiques des exploitations

Conformément aux observations de Veysset et al., (2005b), le revenu dégagé par travailleur n'est pas significativement différent entre les orientations de production. Ramené à l'hectare, il est significativement à l'avantage des élevages naisseurs- engraisseurs (Tableau 13). Les exploitations de la classe 2 ont globalement des ventes et des charges variables à l'hectare inférieures aux autres exploitations du fait de leur mode de gestion relativement extensive. La marge globale dégagée à l'hectare par la classe 2 est significativement plus basse que pour les autres classes. Leurs charges de structures, moins élevées que celles de la classe 1, leur permettent cependant au final de dégager des revenus à l'hectare équivalents à ceux de la classe 1. Si les résultats économiques des classes 1 et 3 semblent relativement proches, l'écart significatif de charges de structure en faveur de l'exploitation 3 pourrait expliquer la différence notable de revenus à l'hectare.

Tableau 13 : Caractéristiques des résultats économiques sur la période 1987-2007 selon les orientations de production

		Classe 1		Classe 2		Classe 3	
Revenu du travail et des capitaux/UTH	Moyenne (en k€ constant)	20 <sup>a</sup>	(1)	20,6 <sup>a</sup>	(0,8)	22 <sup>a</sup>	(0,8)
	Accroissement (en k€/an)	/	/	/	/	/	/
Revenu du travail et des capitaux/ha	Moyenne (en € constant)	305 <sup>a</sup>	(15)	300 <sup>a</sup>	(12)	355 <sup>b</sup>	(12)
	Accroissement (en €/an)	-8	(2)	-7	(2)	-7	(2)
Marge Brute globale/ha	Moyenne (en € constant)	934 <sup>a</sup>	(21)	863 <sup>b</sup>	(16)	925 <sup>a</sup>	(16)
	Accroissement (en k€/an)	-8	(3)	-6,5	(2)	-5,9	(2)
Recettes des ventes bovines/ha	Moyenne (en € constant)	778 <sup>a</sup>	(35)	665 <sup>b</sup>	(27)	798 <sup>a</sup>	(27)
	Accroissement (en k€/an)	-13	(5)	-13	(3)	-18	(3)
Recette des ventes des cultures/ha	Moyenne (en € constant)	146 <sup>a</sup>	(32)	92 <sup>ab</sup>	(25)	52 <sup>b</sup>	(25)
	Accroissement (en k€/an)	-7	(3)	-5	(2)	-3	(1)
Aides directes/ha	Moyenne (en € constant)	308 <sup>a</sup>	(23)	316 <sup>a</sup>	(18)	318 <sup>a</sup>	(18)
	Accroissement (en k€/an)	16	(1,3)	15	(1)	17	(1)
Charges variables/ha	Moyenne (en € constant)	428 <sup>a</sup>	(18)	320 <sup>b</sup>	(134)	391 <sup>a</sup>	(14)
	Accroissement (en k€/an)	/	/	/	/	/	/
Charges de structures/ha	Moyenne (en € constant)	616 <sup>a</sup>	(21)	530 <sup>b</sup>	(16)	540 <sup>b</sup>	(16)
	Accroissement (en k€/an)	/	/	0,6	(0,3)	/	/

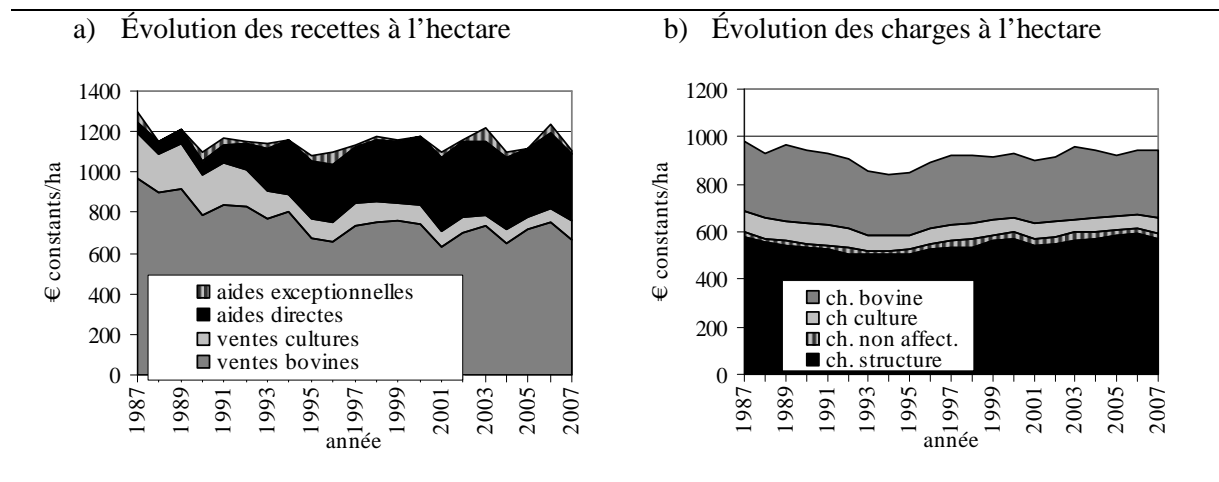
Notes : Entre parenthèses : écart type ; Tous les paramètres indiqués sont significatifs au seuil de 5%

Les valeurs ayant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

Pour chaque variable : N=1253

Le revenu par travailleur (RWC/UTH) se maintient globalement dans le temps alors que lorsqu'on exprime par hectare le revenu, la marge brute et les recettes liées aux ventes, ces indicateurs sont à la baisse. Les charges restent relativement stables. L'augmentation des aides directes à l'hectare ont significativement contribué à maintenir le niveau de revenu des exploitations (Figure 31) ainsi que l'augmentation de la productivité du travail liée à l'agrandissement. Les charges de structure restent relativement constantes au cours du temps ce qui montre que les économies d'échelles réalisées grâce à l'agrandissement sont faibles.

Figure 31 : Évolutions moyennes des recettes(a) et des charges (b) sur l'ensemble de l'échantillon



## 4.2. Impacts des aléas de prix et de rendement sur les variables technico-économiques des exploitations

### 4.2.1. Impacts des aléas sur les variations interannuelles de la production

La quantité de viande vendue par hectare augmente quand le prix de la viande baisse (sauf pour la classe 3). Cela va un peu à l'encontre du bon sens et des théories économiques qui disent qu'une augmentation des prix incite à produire davantage. Le chargement et la part d'animaux engraisés sont également négativement corrélés (Tableau 14). Ainsi, il semblerait qu'en cas de prix défavorables les éleveurs repoussent la vente des animaux.

Tableau 14 : Matrice de corrélation entre décisions de production et aléas de prix

	Classe 1	Classe 2	Classe 3
kg bovin produit /UGB	0,00	<b>0,27</b>	<b>0,10</b>
kg bovin vendu/ha	<b>-0,23</b>	<b>-0,11</b>	0,01
Chargement	<b>-0,27</b>	<b>-0,22</b>	<b>-0,15</b>
% mâles engraisés	-0,09	-0,01	<b>-0,11</b>
% génisses engraisées	<b>-0,16</b>	<b>-0,14</b>	<b>-0,18</b>
Concentré consommé/ha	-0,05	-0,09	-0,02

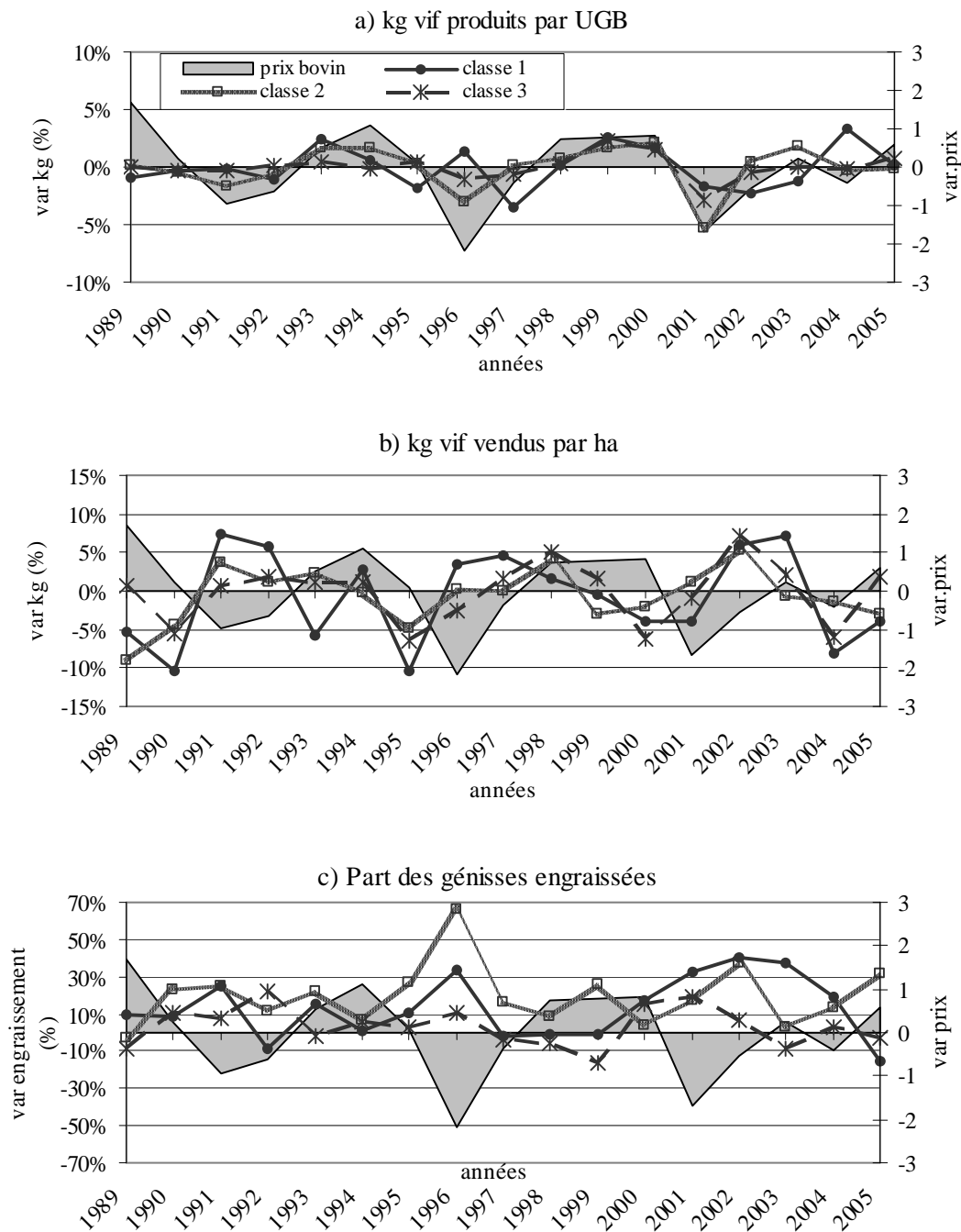
En gras, valeurs significatives au seuil  $\alpha=0,050$  (test bilatéral de Pearson)

Nombre d'observations : classe 1 : 255 ; classe 2 : 437, classe 3 : 432

La Figure 32c montre que la part des génisses vendues augmente de façon très importante en 1996 et de façon un peu moins marquée en 2001-2002 aux moments des deux crises ESB. Si l'augmentation est aussi spectaculaire pour la classe 2 en 1996 c'est aussi parce que la proportion d'animaux engraisés était très faible chez ces éleveurs, ce qui « gonfle » le pourcentage de variation.

Les éleveurs ont peut être cherché à repousser la ventes des femelles maigres qui vendaient difficilement et à profiter du cours des femelles grasses qui s'était moins effondré (ANNEXE 3). De plus, l'augmentation de l'engraissement des génisses a été favorisée par l'instauration d'une prime supplémentaire pour les génisses grasses à partir des années 2000. Ceci met en évidence la capacité des éleveurs à ajuster tactiquement le type d'animaux produit lorsque la conjoncture économique change.

Figure 32 : Variations interannuelles des quantités de viandes produites (a) et vendues (b) et de la part des génisses engraisées (c) superposées aux aléas de prix des bovins



Les quantités de viande produites par UGB sont positivement corrélées avec les variations de prix (pour les classes 2 et 3). Ceci est en accord avec l'observation de Veysset et al., (2002) concernant la baisse du poids des animaux vendus au même âge pendant la crise ESB.

Les variations de rendement des cultures fourragères de l'année courante sont corrélées négativement avec les quantités d'aliment grossier achetées, les quantités de concentré consommées par le troupeau à l'hectare et la part des surfaces fauchées (Tableau 15). La classe 3 est visiblement moins sensible à ces variations. La prise en compte des rendements de l'année antérieure dans l'indicateur de rendement 'bis' nous permet de mettre en évidence que les quantités de concentré consommées et les achats d'aliments grossiers dépendent également des rendements de l'année précédente alors que la part des surfaces récoltées est davantage corrélée à l'indicateur des rendements courant de la SFP que des rendement 'bis'. On observe pour les exploitations de la classe 1 ('broulard intensif') une corrélation significativement négative entre quantité d'azote appliquée et rendement bis, ce qui signifie qu'après une mauvaise année climatique, ces éleveurs cherchent à augmenter leurs rendements de façon à pouvoir reconstituer leur stock.

Tableau 15 : Matrice de corrélation entre décisions de production et aléas de rendement fourrager de l'année courante et de la moyenne des variations de rendements de l'année passée et de l'année en cours ('bis')

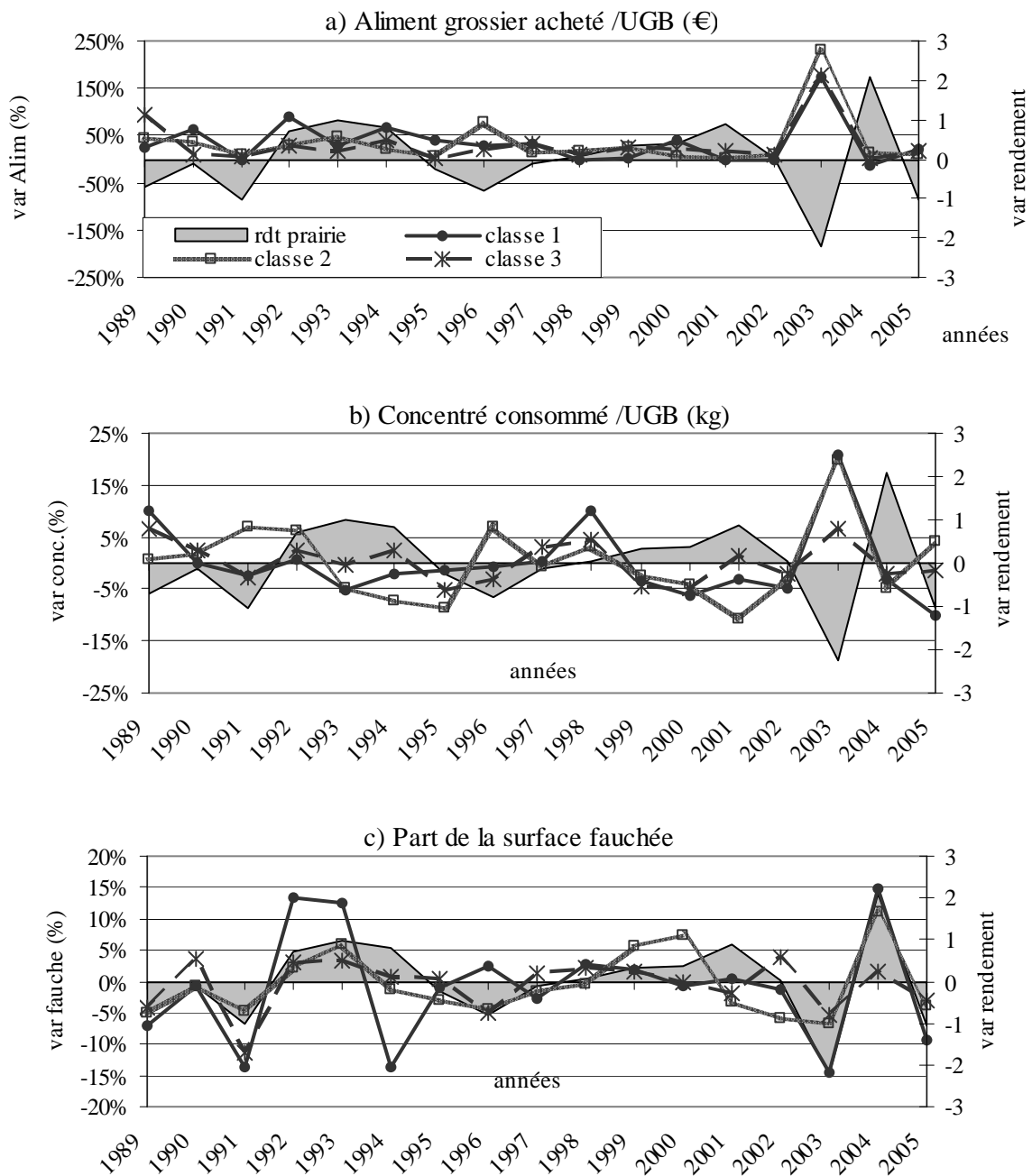
	Rendement de la SFP			Rendement moyen de la SFP 'bis'		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
kg bovin produit /UGB	<b>0,17</b>	-0,03	0,04	0,09	0,00	0,05
kg bovin vendu/ha	<b>-0,13</b>	0,03	-0,02	-0,12	0,01	0,03
Chargement	-0,01	0,01	0,00	0,02	-0,01	-0,01
% Ha de prairie récoltés	<b>0,30</b>	<b>0,24</b>	<b>0,18</b>	0,10	<b>0,11</b>	<b>0,15</b>
Azote /SFP	0,038	0,060	-0,007	<b>-0,15</b>	-0,07	-0,04
Aliment grossier acheté /ha	<b>-0,25</b>	<b>-0,29</b>	<b>-0,17</b>	<b>-0,22</b>	<b>-0,37</b>	<b>-0,12</b>
Concentré consommé/ha	<b>-0,20</b>	<b>-0,22</b>	-0,02	<b>-0,29</b>	<b>-0,26</b>	<b>-0,15</b>

En gras, valeurs significativement différentes de 0 au seuil  $\alpha=0,05$  (test bilatéral de Pearson)  
 Nombre d'observations : classe 1 : 255 ; classe 2 : 437, classe 3 : 432

Les aliments grossiers correspondent aux achats de paille et de foin. La principale augmentation (Figure 33) correspond à la sécheresse de 2003 où la somme dépensée pour l'achat d'aliments grossiers a plus que doublé (les achats 2003 sont même 5 fois supérieurs en moyenne aux achats 2002). En 2003, l'augmentation de la consommation a été forte également : +20% en moyenne. Les exploitations de la classe 1 ont distribué en moyenne cette année là plus de 900 kg de concentré par UGB soit sur l'année 2,5 kg par jour et par UGB, ce qui est très important, surtout pour des

exploitations produisant du brotard. Les surfaces fauchées diminuent de façon relativement importante en 2003 et augmentent également beaucoup en 2004 (de l'ordre de +/- 15%). Les éleveurs ont privilégié la pâture à la fauche lors de la sécheresse en 2003, et, en 2004 ils ont fauché davantage pour reconstituer leur stock, ce qui a été permis par de bons rendements fourragers. Les exploitations de la classe 1 semblent avoir une plus grande marge de manœuvre (ou une plus grande nécessité ?) pour ajuster les surfaces fauchées que la classe 3.

Figure 33 : Variations interannuelles de l'alimentation des animaux (a,b) et des surfaces fauchées (c) superposées aux aléas de rendement des prairies, selon les orientations de production



#### 4.2.2. Variations des indicateurs économiques superposées aux variations de prix et de rendement

La marge brute globale<sup>8</sup> des exploitations (ramenée à l'hectare ou l'UTH) est presque aussi sensible aux variations de prix de la viande bovine qu'aux variations de rendement des surfaces fourragères lorsque ces dernières sont moyennées sur les deux dernières années (indicateur 'bis') (Tableau 16). Il semble ainsi que l'impact d'une mauvaise année climatique se fasse davantage ressentir sur les revenus de l'année suivante que sur ceux de l'année en cours. Les baisses de rendement fourrager influencent en effet les achats d'aliment de fin d'année mais aussi ceux de l'année suivante, ne serait-ce que parce que la saison d'hivernage est à cheval sur deux années civiles. Les reports de stocks d'aliment ou l'état du troupeau peuvent également expliquer les variations de rendement des surfaces fourragères de l'année courante. Nous n'avons cependant pas pu accéder à ces variables.

Tableau 16 : Matrice de corrélations entre variables technico-économiques, prix des bovins et rendements des cultures

	Prix des bovins			Rendement de la SFP			Rendement de la SFP 'bis'		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
MB bovine									
+cultures /uth	<b>0,27</b>	<b>0,27</b>	<b>0,32</b>	0,01	<b>0,12</b>	0,00	<b>0,23</b>	<b>0,26</b>	<b>0,20</b>
MB bovine									
+cultures /ha	<b>0,26</b>	<b>0,28</b>	<b>0,34</b>	-0,01	<b>0,11</b>	0,00	<b>0,19</b>	<b>0,24</b>	<b>0,18</b>
Recettes									
bovines /ha	<b>0,17</b>	<b>0,31</b>	<b>0,36</b>	<b>-0,15</b>	0,01	0,00	-0,03	<b>0,09</b>	0,01
Charges									
bovines/ha	-0,12	-0,04	-0,01	<b>-0,22</b>	<b>-0,16</b>	-0,03	<b>-0,38</b>	<b>-0,28</b>	<b>-0,23</b>
Prix des									
bovins				-0,04	-0,06	0,04	<b>0,21</b>	<b>0,19</b>	<b>0,24</b>

En gras, valeurs significatives au seuil  $\alpha=0,05$  (test bilatéral)

Nombre d'observation pour classe 1 : 255 ; classe 2 : 437, classe 3 : 432

Note : la marge brute est calculée sans les aides exceptionnelles et sans les variations de stocks

Toutefois, quelques précautions doivent être prises par rapport à ces conclusions étant donné que l'indicateur de rendement 'bis' est corrélé positivement à l'indicateur du prix de la viande bovine. Afin de lever ce doute, nous avons réalisé une régression multiple sur les variations centrées et réduites des indicateurs de prix et de climat (les variations de prix et de climat ont ainsi le même poids). Les résultats (Tableau 17) confortent le fait que lorsque les rendements fourragers de l'année

<sup>8</sup> La marge brute globale correspond ici au produit des ventes des cultures et des bovins, moins les charges proportionnelles et structurelles, plus les aides directes non exceptionnelles

précédente sont pris en compte, l'impact des aléas climatiques sur la marge brute globale est significatif.

*Tableau 17 : Résultats de la régression multiple :*

$$\text{Var (Marge brute globale)}_t = a + b. \text{var(Clim)}_t + c. \text{var(Prix)}_t$$

	a	b	c	R <sup>2</sup> ajusté
Clim= rendement des surfaces fourragères de l'année t	-0,005	0,008	0,051***	0,09
Clim= moyenne des rendements des années t et t-1	-0,005	0,025***	0,046***	0,11

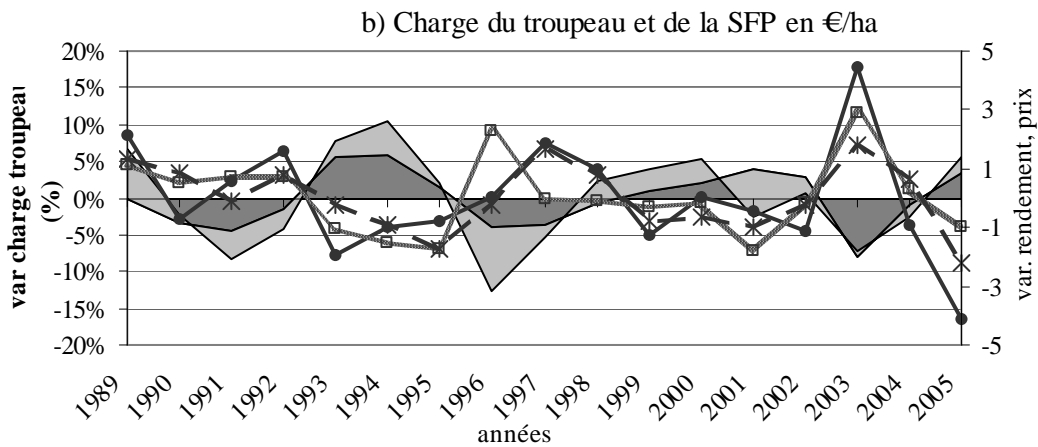
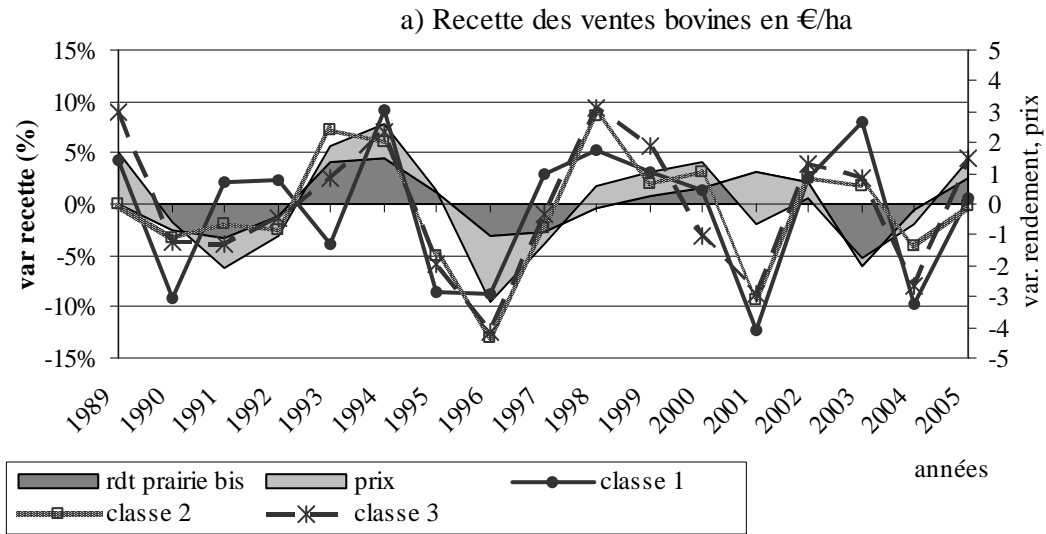
*Notes : N = 1105 ; le test de Fisher indique que les deux modèles sont valides ; la marge brute globale calculée ici correspond aux ventes des animaux et des végétaux plus les aides directes moins les charges proportionnelles et structurelles ; \*\*\* signifie que les paramètres sont significatifs au seuil de 1% (test de Student)*

Les éleveurs naisseurs engraisseurs (classe 3) apparaissent légèrement plus sensibles aux variations de prix alors que les éleveurs de 'broutards peu chargés' (classe 2) semblent plus affectés par les variations climatiques (Tableau 16). Ces différences sont faibles mais vont à l'encontre des hypothèses selon lesquelles des exploitations avec des niveaux de chargement plus faibles devraient avoir une capacité à « tamponner » les aléas supérieure aux autres (Lemaire et al., 2006b). Le sous chargement est cependant relatif et dépend du potentiel de production des prairies. De plus, lorsque la production fourragère est vraiment très faible (comme en 2003), avoir davantage de surface de prairie par UGB n'est pas forcément un avantage par rapport à une production végétale diversifiée qui pourrait avoir des sensibilités différentes aux conditions climatiques.

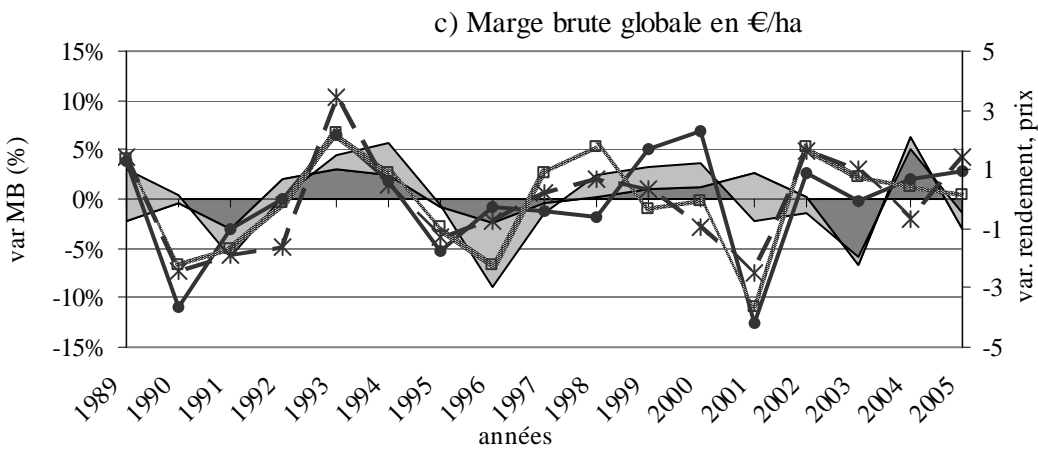
Les effets des prix agissent directement sur les recettes bovines (Tableau 16). Les baisses de rendement des surfaces fourragères induisent quant à elles une augmentation des coûts de production causée principalement par l'augmentation des quantités de concentrés et d'aliments grossiers achetés (voir Tableau 15).

Lorsque l'on considère simultanément les variations de prix et de rendement, on constate sur la Figure 34a que les recettes évoluent dans le même sens que les variations de prix. Cependant, en 2003 et 2004, les variations de prix étaient faibles, cependant les variations de recettes étaient à l'opposé des variations de rendement. Les ventes d'animaux à l'hectare ont été plus importantes en 2003 (Figure 32) ; les éleveurs ont certainement décapitalisé en partie leur troupeau en 2003 afin de diminuer la demande alimentaire et se sont retrouvés avec une moindre production à vendre l'année suivante. Les variations des recettes sont assez homogènes selon les orientations de production. En 2003 et 2004, les amplitudes de variation ont cependant été plus fortes pour les exploitations de la classe 1.

Figure 34 : Variations des recettes bovines (a), des charges du troupeau (b) et le marge brute globale (c) superposées aux aléas sur les rendements fourragers et sur les prix des bovins



NB : Sur ces graphiques, les variations de prix et de climat (centrées et réduits sont cumulées).



En ce qui concerne les charges de troupeau, la Figure 34b montre que les évolutions sont un peu plus hétérogènes. Cependant, toutes ont été profondément affectées par la sécheresse de 2003 avec une augmentation moyenne des coûts de 8 % pour la classe 3 et de 18% pour la classe 1 ; cette dernière a beaucoup augmenté sa consommation d'aliments concentrés. Les charges de la classe 3 sont plus élevées en 2004 que celles des deux autres classes ; cela montre un achat d'aliments plus étalé dans le temps. Les bons rendements de 2004 ont permis de reconstituer suffisamment de stocks pour réduire les charges du troupeau en 2005.

## **5. Synthèse des résultats et conclusion**

Dans ce travail, nous avons décrit les principales caractéristiques technico-économiques d'exploitations spécialisées dans la production de bovins allaitants dans le bassin Charolais ainsi que leurs évolutions, et, nous avons analysé les corrélations entre les variables technico-économiques et les aléas de prix et de climat. Ces mesures ont été faites en distinguant les orientations de production des exploitations.

Dans notre panel, la production animale est principalement vendue sous la forme de broutards mâles et de vaches de réformes engraisées. Bien que les élevages de naisseurs-engraisseurs ne soient pas majoritaires dans cette région, ils concernent tout de même un nombre non négligeable d'exploitations de notre panel (38 %). La classification des exploitations selon leurs orientations a permis de dégager trois classes : la première correspond à des élevages 'naisseurs' chargés, la seconde à des élevages 'naisseurs' peu chargés et la troisième à des élevages 'naisseurs-engraisseurs'. Les éleveurs de la classe 1 (naisseur intensif) et ceux de la classe 3 ('naisseur –engraisseurs') sont relativement proches du point de vue de la gestion du troupeau. Ils distribuent des quantités de concentré par UGB équivalentes et vendent la même quantité de viande à l'hectare. Les exploitations de la classe 2 sont plus économes en concentrés mais vendent en contre partie moins de viande à l'hectare. Ces exploitations, plus extensives, ont moins de surface en maïs ensilage et fertilisent moins leurs prairies. L'orientation de production ne semble pas être un déterminant du revenu par travailleur, bien qu'ici le revenu à l'hectare apparaisse plutôt à l'avantage des éleveurs de naisseurs –engraisseurs.

Les exploitations étudiées ont connu de fortes évolutions au cours des 20 dernières années, à savoir :

- Un maintien des revenus par travailleur. L'accroissement de la taille des exploitations et de la productivité du travail ainsi que l'augmentation des aides directes viennent compenser la baisse des recettes (causée par la baisse des prix de vente). Les charges de structures et les charges proportionnelles restent relativement stables à l'hectare.
- Une conduite plus intensive du troupeau avec une augmentation importante des quantités de concentrés et des quantités de viande produites à l'UGB, des vêlages plus précoces (ce

qui augmente les besoins alimentaires du troupeau à l'étable) et des taux de réforme des vaches plus élevés. L'engraissement des mâles a diminué en faveur des broutards lourds.

- Des prairies qui occupent une part plus importante de l'assolement au détriment des surfaces en maïs et, des surfaces fauchées plus importantes.

Les grandes évolutions décrites précédemment valent pour l'ensemble des classes, mais avec des nuances. Cette analyse met en évidence que les exploitations de la classe 1 ('naissieurs chargés') cherchent davantage à s'agrandir et à intensifier leur production. Au contraire, les exploitations de la classe 2 ('naissieurs peu chargés') ont une croissance plus faible et semblent vouloir extensifier encore leur production (la quantité de concentré augmente moins, la fertilisation azotée diminue plus, la date de vêlage a été retardée ces dernières années..). L'écart se creuse entre les systèmes de productions 'naissieurs'.

L'analyse des corrélations entre aléas et variables technico-économiques nous a permis de mettre en évidence, sur la période 1989-2005 que, pour faire face aux aléas climatiques, les éleveurs modifient la part de concentré dans les rations du troupeau et ont recours à l'achat d'aliments grossiers. Les surfaces fauchées sont ajustées de façon à privilégier le pâturage lorsque la pousse de l'herbe est faible. Pour faire face aux aléas de prix de la viande bovine les éleveurs repoussent la vente de certains animaux maigres et engraisent davantage de femelles. Les revenus (marge brute globale) des éleveurs apparaissent sensibles aux aléas de prix et de climat. Pour observer une corrélation significative entre le rendement des surfaces fourragères (notre indicateur de climat) et le revenu, il faut néanmoins prendre en compte les effets 'retards' des aléas climatiques (nous avons ici considéré la moyenne des rendements fourragers de l'année courante et de l'année précédente). Contrairement à ce qui pourrait être supposé, les éleveurs 'naissieurs peu chargés' n'apparaissent pas moins sensibles aux aléas climatiques et les éleveurs naissieurs-engraisseurs pas moins affectés par les variations de prix.

Ce travail a permis, à l'aide d'analyses statistiques et graphiques, d'apporter un regard différent sur les évolutions des exploitations en comparant les évolutions des systèmes selon les orientations de productions. Il a surtout proposé une méthode pour mettre en évidence la sensibilité des différentes variables technico-économiques aux aléas de prix et de climat sur une longue période. Il est cependant fort possible que toutes les variables sur lesquelles les aléas ont eu un impact n'aient pas été mises en évidence. Il existe en effet beaucoup d'autres sources de variation (agrandissement, accident sanitaire local etc.) qui 'brouillent' les relations. Les variations de prix et de climat peuvent également avoir des effets contraires sur certaines variables. Afin de prendre en compte les interactions entre les différentes variables et entre les différentes années et de quantifier les impacts de ces aléas, la modélisation nous paraît nécessaire.

---

## ***Partie 2.2:***

Estimation économétrique d'une fonction de production et de l'attitude des éleveurs vis à vis des risques de prix et de production (article 1)

---

### ***Table des matières de la partie 2.2 (article 1)***

---

1.	<i>Introduction</i>	62
2.	<i>A production model with output and price risks</i>	64
2.1.	Production risk: a mean-variance approach.....	64
2.2.	Specifying farmer's risk preferences.....	66
2.3.	The farmer optimization program .....	66
3.	<i>Econometric considerations</i>	67
3.1.	The structural econometric model .....	68
3.2.	Estimation method.....	69
4.	<i>Empirical application to beef cattle in France</i>	71
4.1.	Data .....	71
4.2.	Estimation results .....	73
5.	<i>Conclusion</i>	76

Résumé de l'article 1 (partie 2.2) : « Estimation économétrique d'une fonction de production et de l'attitude des éleveurs vis à vis des risques de prix et de production »

Dans cette partie 2.2, un modèle économétrique de production en présence de deux sources de risques (risque de prix et de production) est présenté. Il a pour objectifs 1) d'estimer les relations entre les niveaux d'utilisation des intrants et la distribution de la production de viande, 2) de quantifier les impacts des aléas climatiques sur la distribution de la production et sur les intrants utilisés et 3) de révéler l'attitude des éleveurs vis-à-vis des risques.

Ce modèle nous a permis de montrer que :

- i) les éleveurs sont averses au risque et que cette aversion est du type CRRA (coefficient relatif d'aversion au risque constant en fonction du niveau de richesse)
- ii) L'augmentation de l'utilisation de concentré et de la fertilisation diminue la variabilité de la production.

Les aléas climatiques ont un impact faible mais significatif sur la production moyenne et sur sa variabilité. Ils modifient l'efficacité des intrants : lorsque les rendements de la surface fourragère sont faibles, davantage de concentrés sont nécessaires pour maintenir la production de viande et l'efficacité de la fertilisation diminue.

## **Estimating a production function under production and output price risks: An application to beef cattle in France**

Claire Mosnier<sup>1</sup>, Alban Thomas<sup>2</sup>, Arnaud Reynaud<sup>2</sup>, Michel Lherm<sup>3</sup>, Jacques Agabriel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INRA, UR1213 Herbivore, F-63122 Clermont-Ferrand,

<sup>2</sup>INRA, TSE (LERNA), Université de Toulouse 1, 31042 Toulouse Cedex

<sup>3</sup>INRA UR506, Laboratoire d'économie de l'élevage, F-63122 Clermont-Ferrand

*Corresponding author. Université des Sciences Sociales, 21 allée de Brienne, 31000 Toulouse, France. Email [thomas@toulouse.inra.fr](mailto:thomas@toulouse.inra.fr)*

### **Abstract**

*This paper addresses the issue of agricultural production under both output level and output price risks, in a context of random climatic conditions affecting forage used in beef production. It contributes to the empirical literature by applying the framework proposed by Isik (2002) to derive estimating equations from a structural production model with two sources of risks. Flexible functional forms for risk preferences and production technology allow us to identify attitudes toward risk and compute marginal effects of inputs and climate on expected output and production risk. The model is applied on a panel of French cattle farms and estimation results suggest that cattle farmer exhibit strong risk aversion of the CRRA form, and that climate has a significant impact on the performance of animal feeding strategies.*

### **Keywords**

Just and Pope, production and price uncertainty, beef cattle, risk aversion, FIML

---

## **1. Just and Pope, production and price uncertainty, beef cattle, risk aversion, FIML Introduction**

Suckler cow systems<sup>1</sup> are an important feature of the French agriculture, representing more than one third of all European suckler cows and supplying around 60% of French beef production. These systems also participate to rural development as few economical alternatives to livestock farming exist in these areas and help maintaining large areas under grassland, hence favoring biodiversity and limiting pollution and soil erosion (Gibon 2005). However, they rely mainly on a relatively extensive management of forage, implying that beef production risk may be enhanced by the sensitivity of those crops to weather variability. According to Boyer (2008), the first recipients of the French fund for agricultural calamities are herbivorous farms, mainly because of drought on forage crops. In addition, these farmers have to face another source of risk associated to output market price. Because of the increasing liberalization of the world agricultural markets and of climate change, these risks are likely to have a more profound impact on farm income, while at the same time, the sustainability of the actual public farm payment schemes (calamity compensation, direct payments, etc.) remains uncertain.

In analyzing risk management in agriculture, issues related to production technology, market structure and public support policies are important to consider for several reasons. First, farmers develop individual risk-management strategies that can supplement or replace public compensation policies. Such strategies entail crop and product diversification, contracts and futures to hedge against price risk, and also the use of risk-reducing inputs. In the latter case, technology obviously matters in the definition of risk-increasing versus risk-decreasing inputs (pesticide, irrigation, etc.). Second, the level of risk on output price depends on market conditions and design, i.e., whether products are sold on a competitive market or are subsidized, whether contract-based supply chains are part of the market, etc. Third, from the farmer perspective, public compensation policies are accounted for when deciding on optimal production plans in the presence of risk. More precisely, the proportion of total income exposed to risk will determine the degree to which risk-hedging strategies will differ from those when no risk is present, together with farmer preferences toward risk (Hennessy 1998).

Beside the existence of public support payments, farmers rely on input management to alleviate the impact of random events on production and profit. The design of an optimal input mix is frequently seen as a way of implementing individual risk management strategies, in which the contribution of each input to expected output is weighed against its contribution to production risk (usually measured by the variance of output). In the vast literature devoted to risk management in agriculture, the approach based on conditional moment of production output has proved rather

---

<sup>1</sup> Suckler cow systems consist in raising calves with their mother's milk in order to produce meat

popular, mainly because the way inputs could modify expected output level or production risk is directly estimated from observations on inputs and output (Just and Pope 1978, 1979).

However, approaches along the lines of Just and Pope suffer from several drawbacks: the model is limited to the first two moments of the output distribution, input levels are likely to be endogenous in the production function, risk preferences are not identified and price risk is not considered. Antle (1983a) has suggested a way of dealing with some of the above criticisms to produce estimates of Arrow-Pratt and Downside Risk coefficients from higher moments of the profit distribution (see also Antle 1983b; Antle and Capalbo 2001). However, in Just and Pope as in Antle, no structural model exist that could explicitly represent endogeneity of inputs. Love and Buccola (1991), Saha, Shumway and Talpaz (1994), and Kumbhakar and Tveteras (2003) discuss the need for estimating jointly equations related to production function and to farmers' optimization program, in order to obtain a consistent and efficient model of production. Another limitation of Antle's approach is the fact that technological substitution patterns between inputs cannot be directly recovered, as the relationship between expected profit and production is not available.

In order to overcome the above-mentioned limitations and to extend the empirical analysis to the case of two sources of risks, we consider the production model of Isik (2002). Output price and output level may be correlated, farmers are risk-averse and are characterized by a Just-and-Pope production function, and the maximization of the expected utility of profit in the single-product case leads to a system of structural equations (first-order conditions) that represent explicitly the relationship between (endogenous) inputs and exogenous variables (prices, etc.). Risk preferences can in principle be estimated together with expected output and the variance of production, the limitation of the model being that higher-order moments of the distribution of output are not considered.

We conduct in this article an empirical application of the model proposed by Isik (2002), in the case of beef production (from suckler cows). We focus on input decisions when random climate may affect one of the two inputs, namely forage crop, which is complement or substitute to the other input, animal feed. Our econometric framework allows us to quantify the impact of weather variability on output level, production risk, input choice relationships, and to identify farmer preferences toward risk.

This article makes several contributions to the empirical literature on production under uncertainty and risk aversion. First, if some studies have estimated weather impacts on production distribution, they have dealt exclusively with crop production (Chen and Chang 2005; Isik and Devadoss 2006). In suckler cow production however, the weather-dependent variable –forage production and weather conditions may impact not only the distribution of production but also input/output relationships (through, as mentioned above, substitution effects between forage and animal feed), as farmers may adjust their decisions with partial observation of stochastic events. Second, to the best of our knowledge, Just and Pope production function and risk preferences have not yet been estimated under two sources of risks. We provide, through the empirical implementation of

Isik's framework, a structural model that can be consistently estimated to produce output and risk functions parameters, and risk preference coefficients, when both output price and level are random. To simplify the empirical analysis however, we do not consider correlated risks, such assumption being also justified by the price-taker behavior of cattle farmers, so that correlation between (aggregate) market price and output level is likely to be small.

We first present the production model with output and price risks, and discuss the specification of farmer preferences toward risk and the farmer's optimization program. We then discuss econometric considerations regarding the structural simultaneous-equation model and the Full Information Maximum Likelihood estimation method. The empirical application is based on a panel of 65 cattle farmers observed over the period 1987-2005 and specialized in Charolais suckler cow production in the centre of France. Finally, we jointly estimate the production model and risk-aversion parameters under two sources of risk and discuss estimation results by paying a particular attention to climatic variations and animal feed substitution patterns.

## **2. A production model with output and price risks**

Although it has been criticized because it overlooks higher moments of output (e.g., skewness and kurtosis, see Antle 1983b; Groom et al., 2008), the mean-variance approach proposed by Just and Pope (1978, 1979) is still very popular in agricultural production analysis. This approach provides a simplified specification of production technology with output risk, where inputs affect not only expected output but also its variance (a measure of production risk), allowing marginal effects of inputs to be computed for both moments.

### **2.1. Production risk: a mean-variance approach**

Denote  $y$  the level of output, defined as:

$$(1) \quad y = f(x, \beta) + h(x, \gamma)\varepsilon,$$

where  $x$  is a  $K$  vector of inputs,  $\beta$  and  $\gamma$  are vectors of parameters, and  $\varepsilon$  is an error term with mean 0 and variance  $\sigma_\varepsilon^2$ . Function  $f(\cdot)$  represents the expected output level, while  $\sigma_\varepsilon^2 h^2(\cdot)$  is the variance of output (with the restriction  $h(x; \beta) > 0, \forall x, \forall \beta$ ). Estimating  $\beta$  and  $\gamma$  is typically performed by weighted least squares, using first-stage estimates of  $\varepsilon$  (from initial estimation of  $f(\cdot)$ ) to construct the function  $h$  (see Just and Pope, 1978). The main problem regarding this estimation method is the fact that inputs  $x$  are likely to be endogenous in (1), i.e. correlated with the unpredicted output level if explanatory variables are omitted for instance. Besides, farmer preferences giving rise to optimal

decisions regarding input mix (and consequently, an optimal production plan for  $y$ ) are not present in the model. It is well known however that risk aversion may modify the optimal input mix, or in other terms, that marginal effects of inputs depend on risk preferences. To see this, write the general program of a risk-averse farmer as:

$$(2) \quad \begin{aligned} \max_x EU(\Pi) &\equiv EU [Pf(x, \beta) + Ph(x, \gamma)\varepsilon - rx] \\ \Leftrightarrow \frac{r}{P} &= \frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{\partial h(x)}{\partial x} \times \frac{E(U' \varepsilon)}{E(U')} \end{aligned}$$

where  $U(\cdot)$  is the von Neuman-Morgenstern utility function (increasing, concave in profit),  $\Pi$  is profit,  $P$  is the unit output price and  $r$  is the vector of unit input prices. In the case of a risk-neutral farmer,  $U'$  would be constant so that the last term in the equation above is equal to zero, and marginal productivity equals the price ratio  $r/P$ , which is the usual efficiency condition for production. If, on the other hand, the farmer is risk averse with  $U'' \neq 0$ , then the optimal input mix  $x$  cannot be determined from the production function  $f(\cdot)$  alone. Distortion due to risk aversion is reflected by the term  $\frac{\partial h(x)}{\partial x} \times \frac{E(U' \varepsilon)}{E(U')}$ ; depending on the sign of  $\frac{\partial h(x)}{\partial x}$ , an input may be either risk-increasing or risk-decreasing. In the first case, the farmer would tend to decrease the use of such input, and in the second case the farmer would increase it (see Antle 1983b).

Little attention has been paid in the empirical literature on producer behavior in the presence of a dual source of risk, namely output jointly with production (or input) price. Denote  $P$  the random unit output price, with  $P = \bar{P} + \theta$ , where  $\bar{P}$  is the expected output price and  $\theta$  is a random term with  $E(\theta) = 0$ . The random profit under risk neutrality is then

$$(3) \quad \Pi = (\bar{P} + \theta) [f(x; \beta) + h(x; \beta)\varepsilon] = E(\Pi) + \bar{P}h(x; \beta)\varepsilon + f(x; \beta)\theta,$$

where  $E(\Pi) = \bar{P}f(x; \beta) + h(x; \beta)Cov(\theta, \varepsilon)$ , since  $E(\varepsilon) = E(\theta) = 0$ .

As a consequence, the expected profit may be over- or under-estimated if the covariance (correlation) between both risks is not zero, even if the farmer is risk neutral.

The conclusion of this section is first, that a structural model is needed to represent in an adequate fashion risk preferences together with the presence of price and production risks. Second, the dual source of risk (output level and output price) has to be accounted for to produce consistent estimates of expected profit. The Just and Pope framework is considered only because it provides a simplified specification of the production model with output risk, and such simplification is required when dealing with two sources of risk.

## 2.2. Specifying farmer's risk preferences

A more risk-averse farmer will be willing to forgo a larger reduction in risk, this forgone part of expected profit being the marginal risk premium. Risk aversion is reflected by the curvature of the utility function, with the Arrow-Pratt absolute risk-aversion coefficient defined as follows:

$$(4) \quad \phi_a(\bar{W}) = -\frac{U''(\bar{W})}{U'(\bar{W})},$$

where  $U'$  and  $U''$  denote respectively the first and second derivative of the utility function and  $\bar{W}$  is the expected (post-risk) wealth. The absolute risk aversion (ARA) may decrease (DARA), be constant (CARA) or increase (IARA) with wealth. The Constant, Increasing of Decreasing relative risk aversion (RRA) measures (CRRA, IRRA or DRRA) make explicit the way farmer decisions are affected if all payoffs are multiplied by a positive constant:

$$(5) \quad \phi_r(\bar{W}) = \bar{W} * \phi_a(\bar{W}).$$

Note that CRRA functions are necessarily also DARA. The functional form chosen for the utility function has obviously strong implications for the structure of risk preferences (Hardaker et al., 2004). For instance, the mean-variance utility function or the negative exponential form used by Love and Buccola (1991), Shankar and Nelson (2003) or Antle (2003) imply a constant absolute risk aversion. In this paper we do not impose a priori restrictions on the structure of preferences (e.g., risk neutrality, CARA or CRRA/DARA). Rather, we specify a flexible form (in a way somewhat similar to Chavas and Holt, 1996) for the absolute risk aversion function as a function of post-risk wealth  $\bar{W}$ :

$$(6) \quad \phi_a(\bar{W}) = \phi_0 + \phi_1 \bar{W} + \phi_2 \frac{\bar{W}^2}{2},$$

where  $\phi_0$ ,  $\phi_1$  and  $\phi_2$  are parameters to be estimated jointly with technology parameters. We therefore

require that  $\phi_1^2 - 2\phi_0\phi_2 > 0$  and  $\left(\frac{\phi_1}{2\phi_2}\right) \left[1 + \left(1 - \frac{2\phi_0\phi_2}{\phi_1^2}\right)^{1/2}\right] < 0$  for parameters to be consistent

with positive ex post wealth. Note that expected post-risk wealth is farmer-specific but may also be time-varying, as it implicitly depends on (non-random) input and output prices.

## 2.3. The farmer optimization program

Having specified the production function and the risk preferences, we now proceed to the derivation of the farmer's optimization program, following Isik (2002). Consider a risk-averse farmer facing both production uncertainty (typically related to weather uncertainty) and output price uncertainty. The objective of the farmer is to maximize the expected utility of wealth, where the expectation must be taken with respect to the distribution of all random variables. Wealth can be considered as the sum of the initial non random wealth  $\bar{W}$  plus the random current period profit  $\Pi$

(Chavas and Pope 1985; Coyle 1999) or simply as the profit for the current period. However, there is no consensus on what an appropriate measure of initial wealth might be (Shankar and Nelson). The problem of the farmer is:

$$(7) \quad \max_x EU\{W\} = EU\{\bar{W} + (\bar{P} + \theta) \cdot (f(x) + h(x)\varepsilon) - rx\}$$

Assuming that the second-order conditions are satisfied, the optimal level of  $x$  is given by the necessary first-order condition:

$$(8) \quad \frac{\partial U}{\partial x} = EU\{U_w(W)[(\bar{P} + \theta) \cdot (f_x(x) + h_x(x)\varepsilon) - r]\} = 0$$

where  $f_x$  and  $h_x$  are the derivatives of  $f$  and  $h$  with respect to  $x$  respectively. Next, we approximate  $U_w$  (partial derivative of  $U$  to  $W$ ) around the expected post-risk wealth using a Taylor series expansion. We get:

$$(9) \quad U_w(W) = U_w(\bar{W}) + \{ \bar{P}h(x)\varepsilon + \theta \cdot (f(x) + h(x)\varepsilon) \} U_{ww}(\bar{W}).$$

Combining (8) and (9), we can rewrite the first-order condition as:

$$(10) \quad \frac{1}{U_w(\bar{W})} \frac{\partial U}{\partial x} = E\left\{ \left[ 1 - \phi_a (\bar{P}h(x)\varepsilon + \theta \cdot (f(x) + h(x)\varepsilon)) \right] \cdot [(\bar{P} + \theta)(f_x(x) + h_x(x)\varepsilon) - r] \right\},$$

which corresponds to equation (4) in Isik (2002). Rearranging this condition gives:

$$(11) \quad \frac{1}{U_w(\bar{W})} \frac{\partial U}{\partial x} = \bar{P}f_x + h_x E(\theta\varepsilon) - r - \phi_a \left\{ \bar{P}^2 hh_x \sigma_\varepsilon^2 + ff_x \sigma_\theta^2 + E(\theta\varepsilon) [2\bar{P}hf_x + \bar{P}fh_x - hr] \right. \\ \left. + E(\varepsilon^2\theta) [2\bar{P}hh_x] + E(\varepsilon\theta^2) [fh_x + f_xh] + E(\varepsilon^2\theta^2) [hh_x] \right\}$$

Using the Bohrnstedt and Golberger's (1969) method for the covariance of products of random variables on the previous condition leads to:

$$(12) \quad \frac{1}{U_w(\bar{W})} \frac{\partial U}{\partial x} = \bar{P}f_x - h_x C(\varepsilon, \theta) - r - \phi_a \left\{ \bar{P}^2 hh_x \sigma_\varepsilon^2 + ff_x \sigma_\theta^2 \right. \\ \left. + C(\varepsilon, \theta) [-2Phf_x - Pfh_x + hr] + hh_x (\sigma_\varepsilon^2 \sigma_\theta^2 - 2C(\varepsilon, \theta)^2) \right\}$$

Assuming statistical independence between  $\varepsilon$  and  $\theta$  leads to a simplified necessary first-order condition:

$$(13) \quad \bar{P} f_x(x; \beta) = \frac{\phi_a h(x; \gamma) h_x(x; \gamma) \sigma_\varepsilon^2 (\bar{P}^2 + \sigma_\theta^2) + r}{1 - [\phi_a \sigma_\theta^2 f(x; \beta) / \bar{P}]},$$

where  $f_x$  and  $h_x$  respectively denote derivatives of  $f$  and  $h$  with respect to  $x$ ,  $r$ , is input price and  $P$  is output price with  $Var(P) = \sigma_\theta^2$ .

### 3. Econometric considerations

A well-known problem in primal production analysis, that must be addressed by the estimation method, is the likely endogeneity of inputs  $x$ . There are two main reasons as discussed in Shankar and

Nelson (2003) for inputs to be correlated with production error terms. First, some inputs may be correlated with farmer's unobserved heterogeneity contained in the error term (reflecting, e.g., differences in land quality, farmer's management ability, or omitted variable inputs). The unobserved heterogeneity in technical efficiency of farmers may be somewhat reduced by incorporating "environmental variables" in the production function, but the homogeneity of parameters  $\beta$  (in the expected output function) and  $\gamma$  (in the variance of output) may then have to be relaxed. Second, in agriculture, some input-related decisions taken by farmers can be viewed as sequential within a season (see Antle, 1983a). In suckler cow systems for example, animal feed can compensate a shortage in on-farm forage crops due to adverse weather conditions. Consequently, omitting the sequentiality of decisions in the choice of inputs can be a source of endogeneity in this case.

### 3.1. The structural econometric model

Correction for endogeneity bias can be made by using instrumental variable methods (Wooldridge, 2002), by introducing panel error components to the stochastic term as in Griffith and Anderson (1982) or by adding exogenous variables (Kumbhakar and Tveteras, 2003). In order to reduce the likely effect of unobserved heterogeneity on parameter consistency, we specify the production parameters as explicitly depending on exogenous, observed variables denoted  $z$ , which partly control for heterogeneous technologies and contemporaneous weather conditions. The model we consider has therefore output  $y$  and inputs  $x$  as endogenous variables, prices  $(P, r)$  and variables  $z$  as exogenous variables. Moreover, joint estimation of a structural model (instead of using Instrumental Variable techniques) can reduce endogeneity problems, as mentioned by Love and Buccola (1991). The structural model consists of the following system of equations, for farmer  $i$  at time period  $t$ :

$$(14a) \quad E(y_{it} | x_{it}) = f[x_{it}; \beta(z_{it})],$$

$$(14b) \quad E\{y_{it} - f[x_{it}; \beta(z_{it})] | x_{it}\}^2 = \sigma_\varepsilon^2 h[x_{it}; \gamma(z_{it})],$$

$$(14c) \quad E(P_{it}) = \bar{P}_{it},$$

$$(14d) \quad E(P_{it} - \bar{P}_{it})^2 = \sigma_\theta^2,$$

$$(14e) \quad E\left\{ \left[ r_{it} - \bar{P}_{it} f_x[x_{it}; \beta(z_{it})] \right] \left\{ 1 - \left[ \phi_{ai} \sigma_\theta^2 f[x_{it}; \beta(z_{it})] / \bar{P}_{it} \right] - \phi_{ai} h[x_{it}; \gamma(z_{it})] h_x[x_{it}; \gamma(z_{it})] \sigma_\varepsilon^2 (\bar{P}_{it}^2 + \sigma_\theta^2) \right\} \right\} \\ = E\left\{ M_j \left[ (r_{it}, \bar{P}_{it}, x_{it}; \beta(z_{it}), \gamma, \phi, \bar{W}, \sigma_\theta^2, \sigma_\varepsilon^2) \right] \right\} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, K,$$

$$(14f) \quad E(\Pi_{it}) = P_{it} f[x_{it}; \beta(z_{it})] - r_1 x_1 - r_2 x_2,$$

$i=1, 2, \dots, N; t=1, 2, \dots, T$ , where  $j$  is the index of the variable input  $x_k$  and where the

absolute Arrow Pratt coefficient is  $\phi_{ai}(\bar{W}_i) = \phi_0 + \phi_1 \bar{W}_i + \phi_2 \frac{\bar{W}_i^2}{2}$ . We assume that expected

ex-post risk  $\bar{W}$  is a farmer-specific measure that does not vary through time. The set of

equations (14e) can be combined for two different inputs to form a single first-order condition:

$$(15) \quad \begin{aligned} & r_{1it} \left[ \bar{P}_{it} f_{x_{2,it}} \left( 1 - \phi_{ai} \sigma_{\theta}^2 f_{it} / \bar{P}_{it} \right) - \left( \phi_{ai} \sigma_{\varepsilon}^2 h_{it} h_{x_{2,it}} \right) \left( \bar{P}_{it}^2 + \sigma_{\theta}^2 \right) \right] \\ & - r_{2it} \left[ \bar{P}_{it} f_{x_{1,it}} \left( 1 - \phi_{ai} \sigma_{\theta}^2 f_{it} / \bar{P}_{it} \right) - \left( \phi_{ai} \sigma_{\varepsilon}^2 h_{it} h_{x_{1,it}} \right) \left( \bar{P}_{it}^2 + \sigma_{\theta}^2 \right) \right] = 0 \end{aligned}$$

Equations (14a)-(14b) and (14c)-(14d) refer to the first- and second-order moments of the distribution of output level and output price respectively. Equation (14e) is a structural equation that can be considered a homogeneous nonlinear restriction between endogenous and exogenous variables in the system. Equation (14f) corresponds to the first order moment of the profit distribution. We specify a quadratic functional form (linear in the parameters) for  $f(\cdot)$  in terms of two variable inputs denoted  $x_1$  and  $x_2$ , and three variables capturing parameter heterogeneity as discussed above,  $z_1$ ,  $z_2$  and  $z_3$ .

$$(16) \quad \begin{aligned} f \left[ x_{it}; \beta(z_{it}) \right] = & \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \frac{1}{2} \beta_{11} x_1^2 + \frac{1}{2} \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{z_1} z_1 + \beta_{z_{11}} z_1 x_1 \\ & + \beta_{z_{12}} z_1 x_2 + \beta_{z_2} z_2 + \beta_{z_{21}} z_2 x_1 + \beta_{z_{22}} z_2 x_2 + \beta_{z_3} z_3 + \beta_{z_{31}} z_3 x_1 + \beta_{z_{32}} z_3 x_2 \end{aligned}$$

As for the standard deviation of output, we specify a Translog functional form to ensure positiveness of  $h(\cdot)$ :

$$(17) \quad h \left[ x_{it}; \gamma(z_{it}) \right] = \exp \left( \begin{aligned} & \gamma_0 + \gamma_1 \log(x_1) + \gamma_2 \log(x_2) + \frac{1}{2} \gamma_{11} [\log(x_1)]^2 + \frac{1}{2} \gamma_{22} [\log(x_2)]^2 + \gamma_{12} \log(x_1) \log(x_2) \\ & + \gamma_{z_1} \log(z_1) + \gamma_{z_{11}} \log(z_1) \log(x_1) + \gamma_{z_{12}} \log(z_1) \log(x_2) + \gamma_{z_2} \log(z_2) + \gamma_{z_{21}} \log(z_2) \log(x_1) \\ & + \gamma_{z_{22}} \log(z_2) \log(x_2) + \gamma_{z_3} \log(z_3) + \gamma_{z_{31}} \log(z_3) \log(x_1) + \gamma_{z_{32}} \log(z_3) \log(x_2) \end{aligned} \right)$$

Note that variables  $z$  are introduced additively and interact with each  $x$  but not with the  $x^2$ 's. This means that only first-order terms in expected output and the standard deviation of output are assumed to have heterogeneous parameters. It is clear from this quadratic specification that  $Var(\varepsilon) = \sigma_{\varepsilon}^2$  is not identified and can be normalized to 1, so that  $Var(y_{it}) = h^2 \left[ x_{it}; \gamma(z_{it}) \right]$ . As for the price function, we choose a simple linear, first-order autoregressive process:

$$(18) \quad P_{it} = \bar{P}_{it} + \theta_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 P_{t-1} + \theta_{it}, \text{ where } \alpha_0 > 0, \alpha_1 \in [0, 1) \text{ to ensure price stationarity.}$$

### 3.2. Estimation method

In view of the system of equations (14), the GMM (Generalized Method of Moments) seems to be a particularly interesting estimation procedure to consider, because the GMM estimator is constructed from first -and second- order moment conditions easily obtained from the system's

equations (Wooldridge, 2002). In small samples however, results are generally sensitive to the choice of instruments. In practice, even with an appropriate set of instruments such that the model specification was not rejected by the Hansen over-identifying restriction test, parameter estimates for our model were neither robust nor very significant. A possible explanation is the fact that, when variable inputs  $x$  are treated as endogenous, the total number of endogenous variables is much more important than the number of structural equations in the system, because of the quadratic functional forms specified for  $f(\cdot)$  and  $h(\cdot)$  (cross-products of  $x$ 's and between the  $x$ 's and the  $z$ 's). For this reason, the required number of instruments increases dramatically with the number of variable inputs (and the dimension of the vector  $z$ ), and it may prove difficult to find enough admissible instruments to over-identify the model. Nonlinear maximum likelihood estimators such as FIML (Full Information Maximum Likelihood) can then be considered an alternative to GMM. Although these estimators are more efficient under the assumption of normality, they are generally not consistent when this assumption is not valid (although some special cases exist where such consistency holds, see Phillips 1982). There is no need to obtain a closed-form solution for the endogenous solutions in the system, as the Jacobian transformation computes directly the required transformation during likelihood maximization. This is particularly important for the first-order conditions (14) or (15) that are highly nonlinear in the endogenous variables  $x$ . For this reason, we turn to Nonlinear FIML, whose estimation principle is as follows (see Davidson and MacKinnon, 1993).

Consider the system of structural equations in general form:

$$(19) \quad h_i(Y_i, X_i, \Delta) = U_i, \quad U_i \sim N(0, \Sigma),$$

where  $i$  indexes observations,  $h_i$  is a  $G$  vector of nonlinear functions (as many as there are structural equations in the system) and  $U_i$  is a  $G$  vector of normally-distributed error terms.  $Y_i$  and  $X_i$  respectively denote the vector of endogenous and exogenous variables, and  $\Delta$  is a vector of structural parameters.

The density of  $Y_i$  can be written

$$(20) \quad (2\pi)^{-G/2} |\det J_i| |\Sigma|^{-1/2} \exp\left(-\frac{1}{2} h_i(Y_i, X_i, \Delta) \Sigma^{-1} h_i'(Y_i, X_i, \Delta)\right),$$

where  $|\det J_i| = \left| \det \left( \frac{\partial h_i(Y_i, X_i, \Delta)}{\partial Y_i} \right) \right|$  is the Jacobian of the transformation from  $U_i$  to  $Y_i$ .

The log-likelihood of the sample is

$$(21) \quad \log L(\Delta, \Sigma) = -\frac{NG}{2} \log(2\pi) + \sum_{i=1}^N \log |\det J_i| - \frac{N}{2} \log |\Sigma| - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N h_i(Y_i, X_i, \Delta) \Sigma^{-1} h_i'(Y_i, X_i, \Delta)$$

and the concentrated log-likelihood, when  $\Sigma$  is replaced by its estimate obtained from maximizing  $\log L(\Delta, \Sigma)$  with respect to  $\Sigma$ , is

(22)

$$\log L^C(\Delta, \Sigma) = -\frac{NG}{2} [\log(2\pi) + 1] + \sum_{i=1}^N \log |\det J_i| - \frac{1}{2} \log \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_i'(Y_i, X_i, \Delta) h_i(Y_i, X_i, \Delta) \right|$$

Because joint identification of all structural parameters proved difficult, we proceed in two steps. We first use Equations (14c) and (14d) (output price and price risk equations) to estimate parameters  $\alpha_1$  and  $\sigma_\theta^2$ . We then set the variance of output price equal to its estimate in a second step, where we estimate equations (14b), (14c), (14f), (15) (the combination of conditions (14e) over the two variable inputs  $x_1$  and  $x_2$ ), and the expression for the variance of sales, which is

$$(23) \quad \text{Var}(Py_{it}) = \pi_0 + \bar{P}^2 h_{it}^2 \sigma_\varepsilon^2 + f_{it}^2 \sigma_\theta^2 + h_{it}^2 \sigma_\theta^2 \sigma_\varepsilon^2,$$

because independence between  $\varepsilon$  and  $\theta$  is assumed.

Since parameter  $\sigma_\theta^2$  in Equation (14d) is already estimated in a first stage, we perform the usual correction for the variance-covariance matrix of parameters in two-step estimation, as second-step estimating equations  $(\alpha, \beta, \gamma, \phi)$  depend on the first-step estimated parameter  $(\sigma_\theta^2)$  (see Greene, 1997). Let  $L_1(\sigma_\theta^2)$  and  $L_2(\Delta | \sigma_\theta^2)$  denote the likelihood functions corresponding to equations (14c)-(14d) and the system (14b)-(14c)-(14f)-(15) respectively. The second-step maximum-likelihood estimator as the following asymptotic variance-covariance matrix:

$$(24) \quad \text{Var}(\hat{\Delta}) + \text{Var}(\hat{\Delta}) \left[ C \text{Var}(\hat{\sigma}_\theta^2) C' - R \text{Var}(\hat{\sigma}_\theta^2) C' - C \text{Var}(\hat{\sigma}_\theta^2) R' \right] \text{Var}(\hat{\Delta}),$$

$$\text{where } C = E \left[ \left( \frac{\partial \log L_2(\Delta | \sigma_\theta^2)}{\partial \Delta} \right) \left( \frac{\partial \log L_2(\Delta | \sigma_\theta^2)}{\partial \sigma_\theta^{2'}} \right) \right], R = E \left[ \left( \frac{\partial \log L_2(\Delta | \sigma_\theta^2)}{\partial \Delta} \right) \left( \frac{\partial \log L_1(\sigma_\theta^2)}{\partial \sigma_\theta^{2'}} \right) \right],$$

and  $(\hat{\sigma}_\theta^2, \text{Var}(\hat{\sigma}_\theta^2))$  and  $(\hat{\Delta}, \text{Var}(\hat{\Delta}))$  are estimated from maximizing  $L_1(\sigma_\theta^2)$  and  $L_2(\Delta | \sigma_\theta^2)$  respectively.

## 4. Empirical application to beef cattle in France

### 4.1. Data

We use an original panel dataset from the INRA research department in livestock economics located in Clermont-Ferrand-Theix, France. This database contains yearly records on farm structure, income, production and costs, as well as on farm characteristics related to land and herd management. The sample we use consists of 65 individual farmers observed over the period 1987-2005 (19 years).

Output  $y$  is the quantity of beef meat produced (in kg per hectare of fodder area), and thus takes into account both the stocking rate per hectare of fodder crop and the meat production rate per animal

(table 1). This indicator actually assesses the gain in weight of the herd and includes animals that are not sold during the current year. A weighted average meat price is computed every year for each farm, over the various animal products. The quantity of meat produced is driven essentially by animal diets. Two kinds of feeds are considered in the present study: on-farm forage crops and other animal feed. The quantities of harvested and consumed forage crops are not recorded in the database. We use for input  $x_1$  the quantity of fertilizer applied on forage crops. It is considered an indicator of farmers' intent to increase the yield of forage crops. Price  $r_1$  of nitrogen unit per farm and per year comes from data base records. Endogenous input  $x_2$  corresponds to off-farm forage crops and mainly comprises concentrate feeds such as barley and commercial feeds. Its unit price  $r_2$  is computed as a weighted average of the different kinds of feed purchased by the farmer.

Input efficiency is supposed to be affected according to farm characteristics and weather conditions. Indeed, the actual forage production does not only result from forage crop inputs but also from exogenous factors such as climate conditions or agronomic quality of pasture. We assume that average cereal yield of each farm is related to soil quality and can be taken as a proxy (denoted  $z_1$ ). In addition, farmers' technical ability can alter input-output relationships. Variable  $z_2$  then corresponds to the average number of calves weaned per cow over the period since monitoring of reproduction process requires important technical skills. A proxy of climate conditions is introduced through variable  $z_3$ , computed from yearly regional forage production records.

*Table 1. Descriptive Statistics*

Variable	Mean	Standard deviation
$y$ (average meat output in kg per ha)	399.22	91.26
$x_1$ (forage input in nitrogen unit)	34.96	27.87
$x_2$ (animal feed input proxy in kg)	794.42	439.15
$z_1$ (average cereal yield in 100 kg per ha)	50.89	9.69
$z_2$ (animal productivity proxy in calves weaned per cow )	87.74	4.15
$z_3$ (average climate proxy in 100 kg of dry matter per ha)	45.95	8.18
$P$ (output price in €/kg)	1.89	0.38
$r_1$ (unit price of input $x_1$ in €)	2.23	5.72
$r_2$ (unit price of input $x_2$ in €)	0.20	0.07
Gross margin in € per ha	557.78	175.37
$\bar{W}$ (farm individual average of beef gross margin per worker unit including subsidies, in k€)	44.12	2.49

*Notes: Gross margin is computed as  $Py - r_1x_1 - r_2x_2$ .*

Concerning the farmer-specific risk-aversion coefficient  $\phi_{ai}$ , we hypothesize that farm-specific average profit (annual beef gross margin per worker unit) is a correct approximation of farm ex post wealth (as in particular, this variable includes public subsidies related to land). We therefore consider the individual mean (over time periods) of profit per farm as a proxy.

#### **4.2. Estimation results**

The FIML estimation results are presented in Table 2. Most parameter estimates are significantly different from 0 at the 1% level. Our estimation procedure fits the data quite well as revealed by the adjusted  $R^2$  calculated for average production, price and profit equations ( $R^2$  greater than 0.62). However, a rather low  $R^2$  is found for the structural equation on input price  $r_1$ , while the one with first-order input price  $r_2$  is much higher ( $R^2=0.46$ ). Price is found to be a stationary process, with a slope less than 1. Parameter estimates of squared inputs (see Table 2) indicate that expected output is concave in both  $x_1$  and  $x_2$ , in accordance with producer theory.

Marginal effects of inputs on expected production and output risk are presented in Table 3, together with elasticities with respect to  $x$  and  $z$ . The elasticity of expected output with respect to feed purchased is slightly higher than the one with respect to nitrogen application, probably because concentrate feed is directly available to animals whereas nitrogen application on pasture crops is only an indirect input. Elasticities of output with respect to endogenous inputs (Table 3) are below 0.25, which indicates that the impact of inputs on expected output and on output variance is limited. It is indeed possible to raise animals even without applying mineral fertilizer on forage crops or using concentrate feed in the studied beef production systems. In addition, live weight variation per animal is bounded by biological constraints related to intake capacity, potential of growth and health. Efficiency of inputs is therefore limited. The analysis of elasticities of output risk with respect to inputs reveals that if feed purchased proves to have no significant impact on production risk, nitrogen application appears as a risk-reducing input. Fertilizer is generally found to increase crop production risk among the literature (Love and Buccola 1991; Just and Pope 1979; Shankar and Nelson 2003). However, applying more fertilizer on pasture favors early spring growth which is less sensitive to weather variation than summer and autumn growths. Hence, applying fertilizer on forage crops may reduce variations in the quality and quantity of pasture produced over the year,

Table 2. FIML Estimation Results

Expected output and variance of production						
	Parameter	Estimate	<i>t</i> statistic	Parameter	Estimate	<i>t</i> statistic
intercept	$\beta_0$	-16.5117	(-4.04)	$\gamma_0$	-14.4823	(-6.22)
$x_1$	$\beta_1$	-0.6981	(-7.60)	$\gamma_1$	2.1774	(30.66)
$x_2$	$\beta_2$	0.0734	(10.99)	$\gamma_2$	3.1119	(8.81)
$x_1 x_2$	$\beta_{12}$	0.0006	(53.49)	$\gamma_{12}$	-0.1411	(-50.96)
$x_1^2$	$\beta_{11}$	-0.0199	(-107.82)	$\gamma_{11}$	-0.0521	(-32.05)
$x_2^2$	$\beta_{22}$	-0.0007	(-84.89)	$\gamma_{22}$	-0.0416	(-25.67)
$z_1 x_1$	$\beta_{z11}$	0.0083	(13.44)	$\gamma_{z11}$	-0.0709	(-22.36)
$z_1 x_2$	$\beta_{z12}$	0.0009	(33.70)	$\gamma_{z12}$	-0.0177	(-0.69)
$z_2 x_1$	$\beta_{z21}$	0.0147	(13.83)	$\gamma_{z21}$	-0.1941	(-15.04)
$z_2 x_2$	$\beta_{z22}$	0.0002	(2.53)	$\gamma_{z22}$	-0.1988	(-3.10)
$z_3 x_1$	$\beta_{z31}$	0.0097	(16.78)	$\gamma_{z31}$	-0.0357	(-11.26)
$z_3 x_2$	$\beta_{z32}$	0.0003	(7.90)	$\gamma_{z32}$	-0.4252	(-24.62)
$z_1$	$\beta_{z1}$	-0.7179	(-19.26)	$\gamma_{z1}$	0.3446	(1.87)
$z_2$	$\beta_{z2}$	3.6001	(63.77)	$\gamma_{z2}$	0.5971	(1.44)
$z_3$	$\beta_{z3}$	-0.1811	(-8.20)	$\gamma_{z3}$	2.9723	(27.23)
Output Price						
Intercept		$\alpha_0$	0.3706			(13.29)
$\bar{P}$		$\alpha_1$	0.7839			(60.11)
Variance of error		$\sigma_\theta^2$	0.1388			(11.67)
Risk preferences						
Intercept		$\phi_0$	-0.0709			(-4.49)
$W$		$\phi_1$	0.0067			(9.42)
$W^2$		$\phi_2$	-0.0002			(-10.80)

Notes. 1106 observations.  $\sigma_\theta^2$  is estimated from a first-step FIML.

$R^2$  on structural equations: 0.62 (expected output), 0.85 (output price), 0.63 (expected profit), 0.03 (first-order condition on  $x_1$ ), 0.46 (first-order condition on  $x_2$ )

*Table 3: Estimates of Marginal Effects and Elasticities*

	Estimate	<i>t</i> -statistic
Marginal effect on <i>f</i> (expected output)		
$x_1$	1.6384	103.54
$x_2$	0.0579	56.80
Marginal effect on <i>h</i> (variance of output)		
$x_1$	-0.0416	-67.18
$x_2$	-0.00006	-1.06
Elasticity of <i>f</i> .		
$x_1$	0.1729	104.30
$x_2$	0.2111	61.39
$z_1$	0.17	41.4
$z_2$	0.76	53.4
$z_3$	0.08	6.55
Elasticity of <i>h</i> .		
$x_1$	-0.1884	-47.45
$x_2$	-0.0100	-1.06
$z_1$	-0.07	-2.70
$z_2$	-1.69	-16.5
$z_3$	-0.43	-12.5

Regarding elasticities of expected production with respect to exogenous variables, they appear positive whereas elasticities of output variance are negative. Favorable climatic conditions, farmer skills and good agronomic potential clearly favor enhanced output levels and warrant more regular outputs. A satisfactory level of know-how in cattle reproduction ( $z_2$ ) has the highest impact on expected production and variance, because it is directly related to the quantity of animals that can be sold. The impact of climatic conditions on expected production and on production risk is lower. However, when inspecting estimates of cross products between the proxy for climatic conditions and endogenous inputs, we find positive and highly significant interactions in the mean production function. As climatic conditions are adverse, input efficiency decreases, reflecting the trade-off between forage production and the expected effect of fertilizer. In addition, farmers need to use more feed to maintain their meat production at the required level. In this latter case, adjustment decisions of input levels subsequent to weather conditions observations are clearly identified. Significant and negative estimates of cross products between the weather indicator and endogenous inputs in the production variance function indicate that farmers who relied less on forage production to feed the

herd are naturally found to have a less sensitive production risk to climatic conditions. Interaction estimates between agronomic potential, know-how in cattle production proxies and endogenous inputs are all significant. They are positive in the expected output function (except for “animal productivity times feed purchase” estimates, which is not significant), and negative in the output variance function. As a result, a fertile land and a skilled farmer enhance inputs efficiency and improve production control.

Finally, based on FIML parameter estimates, we compute the absolute and relative risk aversion parameters  $\phi_a$  and  $\phi_r$  (table 4). The absolute risk aversion coefficient is around 0.05, while the relative risk aversion coefficient is estimated at 2.38, indicating a strong risk aversion for farmers in our sample, although these estimated values are in the range of previous empirical studies, see Lins, Gabriel and Sonka (1981), Saha, Shumway and Talpaz (1994), Bar-Shira, Just and Zilberman (1997), Chavas and Holt (1990), Raskin and Cochran (1986). The derivatives of these risk measures with respect to ex post wealth (see Table 4) clearly indicate that farmers are characterized by CRRA and DARA preferences, which is also in line with several previous studies. The CARA assumption, as well as risk neutrality, is strongly rejected by our test statistics.

*Table 4: Estimated absolute and relative risk measures*

<b>I.</b>	$\phi_a$	$\phi_r$	$\partial\phi_r/\partial\bar{W}$	$\partial\phi_a/\partial\bar{W}$	elasticity $\phi_a$ wrt. $\bar{W}$
Estimates	0.0536***	2.3790***	0.0050	-0.0011***	-0.9060***
( <i>t</i> -statistics)	(51.09)	(51.09)	(0.99)	(-9.68)	(-9.60)

*Note: \*\*\* means that the estimate is significantly different from 0 (1%)*

## 5. Conclusion

This article investigates the role of production and price risks on farmers' decisions regarding cattle feeding, when weather variability impacts the level of a particular input (forage crops). The application contributes to the empirical literature on production under risk in several ways. We estimate by nonlinear FIML a structural production model embedding a Just and Pope production function, to estimate technology parameters (expected output and production variance) and to identify farmers' risk preferences using flexible functional forms. To our knowledge, few studies have carried out such structural empirical estimation, and none has considered two sources of risks (production and output price risk). By following the framework proposed by Isik (2002), we consider a fully structural model that allows dealing with endogeneity issues related to variable inputs in both expected production and output variance functions. Technology parameters related to variable inputs have been specified as explicitly depending on exogenous variables which partly control for heterogeneous technologies and contemporaneous weather conditions. This method presents in addition the great

advantage to enable us to measure the impact of climatic conditions, not only on the distribution of production but also on input-output relationships.

The main results of our empirical application are the following. Suckler cow farmers appear to be strongly risk adverse, preferences towards risk being of the CRRA form. Estimated interactions between exogenous structural farm characteristics and variable inputs indicate a significant degree of heterogeneity in technology efficiency across farms. Introducing a weather indicator in both expected output and production variance underlines the fact that the impact of weather on input level is sizable. Sequential decisions regarding non-forage feed and the joint effect of fertilizer and weather on forage production and on subsequent beef production are consequently brought into light. Favorable climatic conditions clearly improve average input efficiency and decrease the variability of this efficiency. These results highlight the fact that, in order to provide consistent prediction of the impact of weather or market change on producer decisions, farmers' risk preferences have to be taken into account through a structural production model.

## **References**

- Antle, J.M. 1983a. "Sequential Decision Making in Production Models." *American Journal of Agricultural Economics* 65(2):282-290
- Antle, J.M. 1983b. "Testing the Stochastic Structure of Production: a Flexible Moment-Based Approach." *Journal of Business and Economic Statistics* 1(3):192-201.
- Antle, J.M. and S.M. Capalbo. 2001. "Econometric-Process Models for Integrated Assessment of Agricultural Production Systems." *American Journal of Agricultural Economics* 83(2):389-401.
- Boyer, P. 2008. "Assurer les calamités agricoles?" *Notes et Etudes Economiques* 30:7-32.
- Bar-Shira, Z., R.E. Just and D. Zilberman. 1997. "Estimation of Farmers' Risk Attitude: An Econometric Approach." *Agricultural Economics* 17:211-221.
- Bohrnstedt, G.W. and A.S. Goldberger. 1969. "On the Exact Covariance of Products of Random Variables." *Journal of the American Statistical Association* 64(328):1439-1442.
- Chavas, J.P. and M.T. Holt. 1990. "Acreage Decision under Risk: The Case of Corn and Soybeans." *American Journal of Agricultural Economics* 72:529-538.
- Chavas, J.P. and R. Pope. 1985. "Price Uncertainty and Competitive Firm Behavior: Testable Hypotheses from Expected Utility." *Journal of Economics and Business* 37:223-235.
- Chavas, J.P. and M.T. Holt. 1996. "Economic Behavior under Uncertainty: A Joint Analysis of Risk Preferences and Technology." *Review of Economics and Statistics* 78(2):329-335.
- Chen, C.C. and C.C. Chang. 2005. "The Impact of Weather on Crop Yield Distribution in Taiwan: Some New Evidence from Panel Data Models and Implications for Crop Insurance." *Agricultural Economics* 33:503-511.
- Coyle, B.T. 1999. "Risk Aversion and Yield Uncertainty in Duality Models of Production: A Mean Variance Approach." *American Journal of Agricultural Economics* 29(3): 553-567.
- Davidson, R. and J.G. MacKinnon. 1993. *Estimation and Inference in Econometrics*. New York: Oxford University Press.

- Gibon, A. 2005. "Managing Grassland for Production, the Environment and the Landscape. Challenges at the Farm and the Landscape Level." *Livestock Production Science* 96(1):11- 31.
- Griffith W.E. and J.R. Anderson. 1982. "Using Time Series and Cross Section Data to Estimate a Production Function with Positive and Negative Marginal Risks." *Journal of the American Statistical Association* 77(379):589-536.
- Groom, B., P. Koundouri, C. Nauges and A. Thomas. 2008. "The Story of the Moment: Risk Averse Cypriot Farmers Respond to Drought Management." *Applied Economics* 40:315-326.
- Hardaker, J.B., R.B.M. Huirne, J.R. Anderson and G. Lien. 2004. *Coping with Risk in Agriculture*, 2nd ed, Cambridge:CABI Publishing Co.
- Hennessy, D.A. 1998. "The Production Effects of Agricultural Income Support Policies under Uncertainty." *American Journal of Agricultural Economics* 80:46-57.
- Isik, M. 2002. "Resource Management under Production and Output Price Uncertainty: Implications for Environmental Policy." *American Journal of Agricultural Economics* 84(3):557-571.
- Isik, M. and S. Devadoss. 2006. "An Analysis of the Impact of Climate Change on Crop Yields and Yield Variability." *Applied Economics* 38:835-844.
- Just, R.E. and R.D. Pope. 1978. "Stochastic Specification of Production Functions and Economic Implications." *Journal of Econometrics* 7(2):276-284.
- Just, R.E. and R.D. Pope. 1979. "Production Function Estimation and related Risk Considerations." *American Journal of Agricultural Economics* 61:67-86.
- Kumbhakar, S.C. and R. Tveteras. 2003. "Risk Preferences, Production Risk and Firm Heterogeneity." *Scandinavian Journal of Economics* 105(2): 275-293.
- Lins, D., S. Gabriel and S. Sonka. 1981. "An Analysis of the Risk Aversion of Farm Operators: An Asset Portfolio Approach." *Western Journal of Agricultural Economics* 6:15-29.
- Love, H.A. and S.T. Buccola. 1991. "Joint Risk Preference Technology Estimation with a Primal System." *American Journal of Agricultural Economics* 73(3):765-774.
- Phillips, P.C.B. 1982. "On the Consistency of Nonlinear FIML." *Econometrica* 50(5):1307-1324.
- Raskin, R. and M.J. Cochran. 1986. "Interpretations and Transformations of Scale for the Arrow-Pratt Absolute Risk Aversion Coefficient: Implications for Generalized Stochastic Dominance." *Western Journal of Agricultural Economics* 11(2):204-210.
- Saha, A., R. Shumway and H. Talpaz. 1994. "Joint Estimation of Risk Preference Structure and Technology using Expo-Power Utility." *American Journal of Agricultural Economics* 76:173-184.
- Shankar, B. and C.H. Nelson. 2003. "A Simple Approach to Stochastic Technology Estimation using Farm Level Data." University of Reading working paper.
- Wooldridge, J.W. 2002. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Cambridge: MIT Press.

## *Partie 3:*

---

# *Construction d'un modèle d'exploitation de bovins allaitants et simulation des impacts des aléas*

---

Afin de comprendre et de simuler plus finement les décisions des éleveurs et leurs implications à court et à long termes sur l'ensemble du système, un modèle d'exploitation en programmation mathématique a été développé. La troisième partie de ce document comporte trois articles s'appuyant sur ce modèle.

Les deux articles du premier chapitre portent sur la version déterministe du modèle (il n'y a pas de variable aléatoire). Ils ont pour but de répondre aux questions sur : i) les types d'ajustements optimaux pour faire face aux aléas de prix et de climat et ii) sur les relations entre les variations de résultats technico-économiques de l'exploitation dans le temps et l'intensité d'aléas non anticipés. Le premier article de cette partie (*article 2*) décrit les équations, le paramétrage du modèle ainsi que son fonctionnement. Le second (*article 3*) procède à l'évaluation de ce modèle et présente les résultats de simulations d'aléas de prix et de climat de différentes intensités. Le troisième article (*article 4*) présente la version probabiliste du modèle et propose une simulation d'une succession d'aléas climatiques lorsque les risques de prix et de climat sont anticipés. Il a plus particulièrement comme objectifs d'évaluer : i) l'impact des risques sur les décisions des éleveurs, ii) l'impact des aléas passés sur les relations entre aléas présents et résultats technico-économiques.

En complément des articles, le paramétrage des primes PAC est détaillé dans l'ANNEXE 2, celui des prix de la viande bovine dans l'ANNEXE 3, celui du sous-modèle végétale dans l'ANNEXE 4, celui du sous-modèle animal dans l'ANNEXE 5. Des schémas d'ensemble sont proposés dans les ANNEXE 6, ANNEXE 7, ANNEXE 8, et des extraits du code gams sont insérés dans l'ANNEXE 11. Deux des présentations effectuées dans des congrès sont proposées dans l'ANNEXE 12.



---

## ***Partie 3.1:***

# **Un modèle bioéconomique pour simuler les ajustements optimaux aux aléas de prix et de production végétale (*articles 2 et 3*)**

### ***Table de matières de la partie 3.1***

---

#### 3.1. Description du modèle et de son comportement (*Article 2*)

1.	<i>Introduction</i>	82
2.	<i>Modelling approach</i>	83
3.	<i>Model description</i>	83
4.	<i>Model parameterization and case study</i>	94
5.	<i>Model Behaviour</i>	97
6.	<i>Discussion</i>	102
7.	<i>Summary and conclusion</i>	105

#### 3.2. Evaluation du modèle et application (*Article 3*)

1.	<i>Introduction.</i>	112
2.	<i>A brief description of model structure and its parameterization</i>	112
3.	<i>Model evaluation against observed farm data</i>	113
4.	<i>Model application: model response to price and crop yield shocks</i>	116
5.	<i>Discussion</i>	120
6.	<i>Conclusion</i>	122
	<i>References</i>	123

## Résumé de la Partie 3.1.: « Un modèle bioéconomique pour simuler les ajustements optimaux aux aléas de prix et de production végétale »

- **Résumé de article 2 (partie 3.1.1) : Description et comportement du modèle**

Le système modélisé comprend un troupeau de bovins et des ressources végétales. Le troupeau est divisé en douze classes d'animaux caractérisées par des variables de poids moyen et d'effectif. Les variables de décisions relatives aux ventes d'animaux, aux taux d'engraissement et au nombre de femelles mises à la reproduction permettent de contrôler les effectifs tandis que la composition et la valeur énergétique de la ration autorisent une certaine flexibilité dans la gestion de la croissance des animaux. Les ressources végétales comprennent cinq types de produits végétaux qui peuvent être produits à partir de cinq cultures. Ces produits sont caractérisés par des paramètres relatifs à leur teneur en énergie et à leur encombrement et par des variables de quantités. Ces quantités dépendent non seulement des choix d'assolement, de la surface de prairie récoltée, de l'achat et de la vente d'aliments mais aussi des conditions climatiques. Un sous modèle de croissance de la prairie est couplé afin d'obtenir les productions mensuelles en fonction des conditions climatiques et de la nature de la prairie.

Les choix de productions sont optimisés sur un horizon de planification de cinq ans de façon à maximiser l'« objectif » de l'éleveur. Cette fonction correspond à la somme actualisée de l'utilité des profits sur les cinq années. Les préférences inter temporelles ont été prises en compte. Nous faisons l'hypothèse que l'éleveur n'anticipe que des conditions de climat et de prix « moyennes » mais qu'il peut ajuster ses décisions chaque mois, au fur et à mesure qu'il acquiert de nouvelles informations sur la situation observée. Ceci est représenté au moyen d'une suite récursive d'optimisations du modèle multi périodiques, chacune d'elle étant initialisée par les sorties de l'optimisation précédente et par les nouvelles conditions de climat et de prix. Les résultats sur l'horizon simulé correspondent aux premières périodes de chaque optimisation.

Le modèle est paramétré pour la race charolaise et pour les conditions climatiques du nord du Massif Central. Les contraintes structurelles (surface disponible, surface en prairies permanentes, capacités de stockage, travail, places en bâtiment) correspondent à celles d'une exploitation engraisant la plupart des mâles (correspondant à la classe 1 définie dans la partie 2.1).

Quelque soit le paramétrage initial des variables dynamiques, le modèle converge vers un même état stationnaire correspondant à des contraintes PAC, des prix et des rendements et « moyens ». Les choix de production sont cependant modifiés par exemple lorsque les contraintes de la PAC deviennent plus sévères ou lorsque le prix des animaux gras baisse par rapport à celui des animaux maigres ou bien encore lorsque les contraintes structurelles sont relâchées. De plus, nous montrons que l'éleveur peut faire face à une baisse modérée de rendements des surfaces fourragères en jouant uniquement sur le poids des animaux, sur le nombre d'animaux ou sur l'achat d'aliments

- **Résumé de l'article 3 (partie 3.1.2) : Evaluation et application**

Dans cet article nous comparons l'évolution simulée des variables technico-économiques sur la période 1990-2006 à l'évolution observée de 25 exploitations produisant principalement des taurillons gras (cf partie 2.1). La plupart des valeurs simulées sont comprises dans un intervalle correspondant à la moyenne observée plus ou moins un écart type. Certains écarts ont néanmoins été mis en évidence. Parmi eux figurent les poids simulés des animaux vendus qui restent fixes quelque soit l'année considérée et la simulation de l'arrêt total de l'engraissement des génisses suite à la réforme de la PAC de 2006.

Dans le but d'évaluer les relations entre les aléas de prix et de climat et les résultats technico-économiques des exploitations, nous avons simulé des aléas de -60% à +60% de leur valeur moyenne. Chaque simulation comporte une dizaine d'années « moyennes » et une année avec un aléa. Cinq indicateurs rendent compte des ajustements réalisés au niveau des ventes d'animaux, de leurs rations, de la balance commerciale des produits végétaux et du foin récolté. En ce qui concerne les aléas climatiques, les ajustements effectués évoluent en fonction de l'intensité de l'aléa. Toutefois, les ventes animales sont maintenues pour des chocs climatiques d'intensité modérée aux dépens d'importantes modifications de l'alimentation des animaux et des achat-ventes d'aliments. Plusieurs années sont parfois nécessaires pour qu'après un aléa, le profit retourne à son niveau d'équilibre antérieur, et, les pertes occasionnées par des aléas négatifs ne sont pas compensées par les gains accumulés lorsque la conjoncture est favorable. Pour les aléas de prix, la production n'est ajustée que pour des aléas d'intensités supérieures à +40% ou inférieures à -40% du prix moyen. Dans l'intervalle [-40% ; +40%], les variations de profits sont linéaires et les aléas n'affectent que les profits de l'année en cours.



# **A dynamic bio-economic model to simulate optimal adjustments of suckler cow farm management to production and markets shocks**

## **I. Model description and model behaviour**

C. Mosnier<sup>a</sup>, J. Agabriel<sup>a</sup>, M. Lherm<sup>b</sup>, A. Reynaud<sup>c</sup>

<sup>a</sup> INRA, UR1213 Herbivore, F-63122 Clermont-Ferrand

<sup>b</sup> INRA, UR506, Laboratoire d'économie de l'élevage, F-63122 Clermont-Ferrand

<sup>c</sup> TSE (LERNA-INRA), Université de Toulouse 1, 31042 Toulouse Cedex.

*Corresponding author: cmosnier@clermont.inra.fr*

### **Abstract**

*Tactical adjustments to seasonal weather conditions and beef price may generate additional incomes or avoid losses in French beef cattle farms. Due to the length of the suckler cow production cycle, adjustment decisions may impact not only on current production and profit but also on future farm outcomes. To better understand the consequences of shocks and subsequent production adjustments on the evolution of farm earnings and production over time, we built an original dynamic recursive bio-economic farm model. Some bio-economic models have already tested some tactical decisions on production but none has yet introduced simultaneously the possibility of adjusting herd size and herd composition, diet composition and diet energy content, as well as crop rotation, haymaking and feed stocks, taking into account both their short and long term consequences. In this paper, model structure and model behaviour are presented and discussed.*

### **Keywords:**

*Dynamic recursive model; Tactical adjustments; Livestock farm model; Bio-economic model*

## **1. Introduction**

Climate change, agricultural policy reforms or market evolution are potential sources of changes to append to usual variabilities of production and market. These shocks challenge farmers, who need to adapt their farming system continuously and reactively, as well as policy makers and insurers who need to understand how farms are affected by these shocks. Suckler cow systems which consist in raising calves with their mother's milk in order to produce meat are an important feature of French agriculture. The 4.3 million French suckler cows indeed represent more than one third of all European suckler cows and supply around 60% of the beef production in France. They also participate in rural development, as few economic alternatives to livestock farming exist in these areas and they help in maintaining large areas under grassland which favours biodiversity and limits pollution and erosion (Le Goffe, 2003). However, these farms are highly dependant on public subsidies (Veysset et al., 2005a), they rely on pasture production which is very sensitive to weather conditions (Gateau et al., 2006) and they sell mostly only beef, which makes their income fluctuate with beef market conditions. Numerous sources of flexibility in production management can help farmers to cope with these shocks. Firstly, a large range of animal products can be sold regarding their sex, their age, their live weight and their technology of production (Liénard and Lherm, 1986). Secondly, thanks to the compensatory growth and adaptive capacity of animals (Hoch et al., 2003; Blanc et al., 2004), temporary modifications to production conditions do not necessarily affect sales objectives. Crop production and feed supply management also add some margins of manoeuvre. The suckler cow production cycle lasts several years; therefore, adjustment decisions may impact not only on current production and profit but also on future farm outcomes. Neglecting the adjustment capacity of farmers or ignoring its long term impacts can lead to misevaluating shock impacts (Antle, 1983). Consequently, it is of great interest for farmers, as mentioned by Pannell et al., (2000), to gauge "*how to respond tactically and dynamically to unfolding opportunities or threat to generate additional income or to avoid losses*". The question is then to characterize relationships between shocks, optimal adjustments and evolution of the farm, focusing on market and crop production shocks. Although farm exposure can be mitigated by risk anticipation, the focus here is on adjustment mechanisms.

Modelling offers a comprehensive way to disentangle the workings of complex systems and to predict shock impact on farm outcomes. This study aims at developing a model to simulate optimal short term responses to environmental conditions (market, weather etc.) by means of production management adjustments. The objective of the present paper is to present our model and discuss assumptions underlying its construction and its parameterization. Model evaluation and application are presented in a companion paper.

The remainder of this article is organized as follows. We first present our modelling approach. Then the model structure and its calibration (corresponding to a French Charolais suckler cow farming

system) are described. After an analysis of our model behaviour, we eventually discuss the implications of our modelling choices.

## **2. Modelling approach**

Farm models detailing biotechnical specifications can be divided into two broad categories: simulation models and optimisation models. Whole farm model simulation necessitates defining decision rules into a management sub-model (Coleno et al., 2002; Romera et al., 2004; Jouven and Baumont, 2008). However, these rules are set for a specific context and might turn out to be irrelevant when changes occur. We therefore opt for a bio-economic model (see Janssen et al., 2007, for a review) which tightens decision variables to a single objective function independent of environment conditions. Static bio-economic livestock models such as the ones developed by Veysset et al., (2005), Crosson et al., (2005), Havlik et al., (2005) or Matthews et al., (2006) compare farm equilibriums under different conditions (here policies). However, contrary to dynamic models which take time explicitly into account, static models do not give the opportunity to study farm responses outside an optimal steady state. Consequently, perturbation caused by a temporary shock or the transition path between two equilibriums when facing permanent shocks cannot be studied. We therefore follow Olson and Mikesell (1988); Lambert (1989); Kingwell et al., (1993); Nicholson et al., (1994); Jacquet and Pluvinage (1997); Barbier and Bergeron (1999) or Kobayashi et al., (2007) by representing a sequential decision-making process to permit progressive adjustment when new information becomes available. These sequential dynamic models proposed either a fairly small number of variables to be adjusted or limited periods where these adjustments can be made. We want here to take into account the monthly management of a larger number of animal categories existing within the cattle herd, of animal live weight, and of conserved feed and standing grass. As discussed in Blanco and Flichman (2002), programming methods used in these models, namely Stochastic Dynamic Programming (SDP) or Discrete Stochastic Programming (DSP), are limited respectively by the number of state variables (that is to say dynamic variables) or by the number of stages (number of periods where decisions can be readjusted). Model size indeed explodes when variables or stages increase. We therefore adopt a dynamic recursive framework which consists of a sequence of deterministic multi-periodic models.

## **3. Model description**

The model is formulated to represent average French suckler cow farms. Such farms consist of beef cattle production based on a suckler cow herd and of grain and forage crop production. This production system must be managed by a farmer over a finite horizon of  $T$  years. Each year, indexed by  $t = \{1, \dots, T\}$  is divided into monthly intervals indexed by  $month = \{1, \dots, 12\}$ . The ‘production year’

starts in April, at the beginning of the grazing season. Notations used in this section to describe the model are displayed in table 1.

Table 1: Nomenclature

---

<b>➤ Animal and crop product (indexes) notations</b>	
$a$ : animal classes	$a\_calf$ : calves $a\_stor$ : stored animal $a\_fat$ : fattened animal $a\_rep$ : female eligible for suckler cow premium
$v$ : crop products	$v\_feed$ : can be consumed by the animals $v\_ng$ : non grass $v\_ngh$ : non grass non hay $v\_g$ : grass
$c$ : crop production	$c\_np$ : non pasture crop $c\_p$ : pasture crop $c\_pp$ : permanent pasture crop $c\_cer$ : cereals (maize included)

---

<b>➤ Endogenous variables (uppercase letters)</b>	
$AAP_t$ (€)	Arable area payment
$ADG_{a,t,month}$ (Kg/day)	Average daily gain
$AS_{a,t,month}$ (head)	Number of animal sold
$CUT_{t,month}$ (100 kg)	Quantity of hay harvested
$GP_{t,month}$ (100 kg)	Quantity of standing grass
$LW_{a,t,month}$ (kg)	Animal live weight
$NB_{a,t,month}$ (head)	Number of animals present
$NEB_{a,t,month}$ (MJ)	Net energy balance
$NEM_{a,t,month}$ (MJ)	Net energy for maintenance
$PREMTOT_t$ (€)	Total amount of premium received
$PSP\_cow_t$ (€)	Specific payment for suckler cows
$PSP\_LU_t$ (€)	Specific payment for extensification
$PSP_t$ (€)	Product Specific Payment
$Q_{feed,a,t,month}$ (100 kg)	Quantity of feed product in animal diet
$RRATE_t$	Rate of female used for reproduction
$SFAT_{a,t}$	Rate of animal to fatten
$SR_t$ (LU/ha)	Stocking rate
$ST_{v,t,month}$ (100 kg)	Quantity of crop product stored
$VB_{v,t,month}$ (100 kg)	Quantity of crop product bought
$VC_{v,t,month}$ (100 kg)	Quantity of crop product consumed
$VH_{v,t,month}$ (100 kg)	Quantity of crop product harvested
$VS_{v,t,month}$ (100 kg)	Quantity of crop product sold
$X_{t,c}$ (ha)	Crop production acreage

Z (€)	Objective
$\Delta S$ (€)	Value of stock variation
$Q_{\text{feed},a,t,\text{month}}$ (100 kg)	Quantity of feed product in animal diet

---

➤ **Exogenous parameters (lower-case letters)**

$a_1, a_2$	Constants related to animal characteristics
$abs_{t,\text{month}}$	Rate of grass abscission
$bcs_{a,\text{month}}$ (body score unit)	Theoretical body score
build (calves head)	Building capacity
$c\_cost_c$ (€/ha)	Cost related to crop production
$day_p$ (day)	Number of days per month
$fv_{\text{feed},t,\text{month}}$ (fill unit/100kg of feed)	Fill value
$gain_{\text{max}}$ (kg)	Maximum weight gain during fattening
$gc$ (kg)	Cumulated weight gain since the beginning of fattening
$h\_cost_p$ (€/kg)	Cost to harvest grass
$ic_{a,\text{month}}$ (Fill unit)	Intake capacity
lab (equivalent LU)	Labour constraint
loss	Rate of grass harvested lost during haymaking
$lu\_cost$ (€/LU)	Diverse costs proportional to livestock unit
$lw_0$ (kg)	Initial live weight
$lw_i$ (kg)	Current live weight
$max\_pspcow$ (€)	Maximum amount per farm for sucklercow premium
$milk_{a,\text{month}}$ (j)	Net energy from milk
$mort_{a,\text{month}}$	Mortality rate
$ne_{\text{feed},t,\text{month}}$ (MJ/100kg)	Net energy content
P (€/kg)	Observed price
P* (€/kg)	Anticipated price
$PriA_{a,t,\text{month}}$ (€/kg)	Animal price
$PriV_{v,t,\text{month}}$ (€/100kg)	Crop product price
$rot_{cc}$	Rotation matrix between the different crop productions
$s1_a, s2_{a,\text{month}}, s3_a, s4_{a,\text{month}}$	Constants
Sfp (€)	Single farm payment
$sr1$ (LU/ha)	Threshold stocking rate
$stmax_v$ (100kg)	Storage capacity
$tadg$ (kg/day)	Theoretical average daily gain
$tlw_{a,\text{month}}$ (kg)	Theoretical live weight
$tnem_{a,\text{month}}$ (MJ)	Theoretical net energy for maintenance
$Trans\_lw_{a,a}$	Transition matrix between the different animal classes
$Trans\_nb_{a,a}$	Transition matrix between the different animal classes
Uaa (ha)	Usable arable area

$uaa\_cost$ (€/ha)	Diverse costs proportional to hectare of land
$v\_cost_{v,t,month}$ (€/kg)	Price of purchased crop product
$x\_0$ (ha)	Initial crop acreage
$y_{c,v,t,month}$ (100 kg/ha)	Crop yield
$\alpha, r$	Constants for time preference
$\beta$	Constant for price anticipation
$\gamma$	Constant rate of daily gain decrease.
$\lambda_a$	Corrective parameter for NEM

### 3.1. The production system

The production system is described here distinguishing farmer herd management and farmer crop production management.

- *Herd management*

Twelve annual animal classes characterized by sex (male, female or castrated male), age (from new born to adult) and by production objective (fattening or storage), are introduced to cover the range of animal production in the studied area (table 2). Classes, indexed by  $a$ , are described by two endogenous dynamics variables: the number of animals and their average live weight (24 state variables in total). Herd management consists in controlling those dynamics thanks to the 1) monthly control of animal sales, 2) monthly choice of animal diet composition and diet energy content, 3) part of cows for reproduction each year, and 4) annual fattening objectives.

Table 2: Animal classes introduced in the model

Sub class	calves				stored animals				Fattened animals				
	female	male	1 y.o. heifer	2 y.o. heifer	Primiparous cow	Multiparous cow	1 y.o male	2 y.o steer	3 y.o steer	2 y.o bull	Fat. Cow	Fat heifer	
age	min	0	0	2	14	26	>38	2	14	26	14	>38	26
(months)	max	2	2	14	26	38	>38	14	26	32	20	+8 m.	32
Live weight (kg)	min	45	48	93	354	499	618	107	445	662	445	618	499
	max	70	79	374	542	629	683	466	716	801	711	757	689

The number of animals in each class is initialised for the first period of the planning horizon. Then intra year dynamics are defined by the motion function  $f$ . This function draws the balance between past number of animals, sales decisions and mortality (1).

$$NB_{a,t,month} = f_{a,t,month-1}(\cdot) = NB_{a,t,month-1} \times (1 - mort_{a,month-1}) - AS_{a,t,month-1} \quad (1)$$

For month > 'April'

At the beginning of each following year (in April), an animal may change from one class to another because of natural ageing process (the number of 1 year old heifers at the end of a year becomes the initial number of 2 year old heifers the following year or calf numbers depend on the cow numbers) and because of fattening and reproduction objectives. The model can choose for instance to convert part of the number of two year old heifers into fat heifers (2) and the remaining part into primiparous cows (3). Limitation of the percentage of reproductive females for mating can reduce the number of calvings in February (4).

$$NB_{a\_st,t,'april'} = \sum_a \left[ trans_{a,a\_st} \times f_{a,t-1,month-1}(\cdot) \times (1 - SFAT_{a,t}) \right] \quad (2)$$

$$NB_{a\_fat,t,'april'} = \sum_a \left[ trans_{a,a\_fat} \times f_{a,t-1,'march'}(\cdot) \times SFAT_{a,t} \right] \quad (3)$$

$$NB_{a\_calf,t,'febr'} = \sum_a \left[ trans_{a,a\_calf} \times NB_{a,t-1,'march'} \times Rrate_t \right] \quad (4)$$

Some additional constraints are added to make the model more realistic. Multiparous cows do not undergo an ageing process in our model; consequently, a minimum cull rate is introduced. Moreover, the number of mature cows must be high enough to suckle young animals until weaning in October and no sale of calves is allowed before their fifth month which corresponds to early weaning. As few market opportunities exist for 2 year old stored steers, we assume they cannot be sold.

Animal live weight dynamics are expressed in the same way: initialisation of the live weight for the first period, intra-annual dynamics described by a motion function which depends on the average daily weight gain (ADG) realised during each day of the month considered (5), and inter year dynamics defined by a transition matrix.

$$LW_{a,t,month} = LW_{a,t,month-1} + day_{month-1} \times ADG_{a,t,month-1} \quad (5)$$

The ADG value is a function of the daily net energy balance (NEB) (6) and can vary from +/-10% of the theoretical gain in order to allow some compensatory growth. For mature cows, we set gain interval at [-0.5; +0.4] kg per day.

$$ADG_{a,t,month} = s1_a + s2_{a,month} \times tlw_{a,month} + s3_a \times NEB_{a,t,month} + s4_{a,month} \times bcs_{a,month} \quad (6)$$

NEB is the difference between on the one hand net energy intake which depends on quantity of feed ingested by each animal and on their energy content, and, on the other hand, net energy requirement that comprises net energy for production (lactation and pregnancy) and net energy to maintain (NEM) live weight constant (7). A NEM correction term is applied (8) to take into account the differential between theoretical live weights and simulated ones (an animal that weighs more will have higher maintenance needs). Diets are not only characterized by their energy content but also by their fill value

which cannot exceed the intake capacity of the animal (9). When animals are fed indoors, we consider that fill value of diets proposed by the model have to be close to the intake capacity of animals in order to satiate them (a small percentage can be covered by straw intake).

$$NEB_{a,t,month} = \left[ \sum_{feed} (Q_{feed,a,t,p} \times ne_{feed,t,month}) + ne_{milk_{a,month}} \right] - [nep_{a,month} - NEM_{a,t,month}] \quad (7)$$

$$NEM_{a,t,month} = tmem_{a,month} + \lambda_{a,month} (LW_{a,t,month} - tlw_{a,month}) \quad (8)$$

$$ic_{a,month} \times 0.8 \leq \sum_{Feed} [Q_{feed,a,t,month} \times fv_{t,feed,month}] \leq ic_{a,month} \quad (9)$$

The animal sub model calculates theoretical live weight and animal requirement of the animal at each period according to INRA (2007) and Garcia and Agabriel (2008) equations. This sub model simulates animal growth assuming a calving occurs on 1st February thanks to Gompertz functions (10). The theoretical putting on weight of females (cows and three year old heifers) at fattening is calculated as the difference between cumulated gain since beginning of fattening and maximum live weight (11). Reproduction and maintenance requirements as well as intake capacity are set monthly according to theoretical live weight. Maintenance needs at pasture are increased by 20 % at pasture to account for higher activity.

$$tadg_i = a_2 \times lw_i \times \ln \left( \frac{lw_0 \times \exp(a1)}{lw_i} \right) \quad (1)$$

$$tadg_i = \gamma \times (gain_{max} - gc_i) \quad (1)$$

▪ *Crop production management*

We consider the five most widespread products in the farming systems studied: grazed grass, hay, maize silage, grain and straw which can be made from four crop productions: permanent and temporary pastures, two cereal crops (to enable sowing cereal crops two years in a row) and maize crop (table 3). These products are described by parameters of qualities (fill value and energy content) and by dynamic variables related to the quantity stored.

Table 3: Crop variety and crop products

products	Grazed grass	Hay	Grain	Straw	Maize silage
Crop production					
Permanent pasture	X	X			
Temporary pasture	X	X			
1st cereal			X	X	
2nd cereal			X	X	
Maize					X

Two different kinds of dynamics are defined for crop products stock. First, stocks of conserved produce are classically defined as the balance between inputs (production and purchase) and withdrawals (herd consumption and sale) plus the stock remaining from the previous period (12). It is assumed that maize silage cannot be traded and that stock quantity cannot exceed farm storage capacity for each product. Secondly, the quantity of standing grass available in one period corresponds to the remaining (after abscission) balance between previous biomass stock, grass produced, quantity of grass cut for haymaking and herd consumption (13). The coefficient of abscission takes into account losses due to average ageing process and to environmental conditions when grass use is delayed to the following month.

$$ST_{v\_ng,t,month} = \begin{cases} +ST_{v\_ng,t,month-1} + VH_{v\_ng,t,month-1} + VB_{v\_ng,t,month-1} \\ -VC_{v\_ng,t,month-1} - VS_{v\_ng,t,month-1} \end{cases} \quad (12)$$

$$ST_{v\_g,t,month} = [ST_{v\_g,t,month-1} + GP_{t,month} - CUT_{t,month-1} - VC_{v\_g,t,month-1}] \times abs_{month-1} \quad (13)$$

Crop product quantities harvested depend on crop acreage decisions and on crop yields (14). Harvested hay quantity corresponds to the quantity of grass cut penalised by a coefficient of loss (20%) because of transport, haymaking etc (16).

$$VH_{v\_ngh,t,p} = \sum_{np} (X_{t-1,c\_np} \times y_{c\_np,v\_ngh,t,month}) \quad (14)$$

$$GP_{v\_g,t,month} = \sum_{npast} (X_{t-1,c\_p} \times y_{c\_p,v\_g,t,month}) \quad (15)$$

$$VH_{v\_h,t,month} = CUT_{t,month} \times loss \quad (16)$$

The model is then free to decide the quantity cut per month within the limit of the grass availability. Not every crop precedent is allowed owing to agronomic constraints (17). In addition, permanent pasture acreage is assumed to remain fixed whereas temporary pasture is implanted for at least five years. Only one fifth of the temporary pasture area can then enter the crop rotation each year. The quantity of feed produce consumed by the herd is proportional to monthly animal intakes and to animal number (18). Straw which is considered as litter is proportional to herd size.

$$X_{t,c} \leq \sum_{C2} rot_{c,c2} \times X_{t-1,c2} \quad (17)$$

$$VC_{v\_feed,t,month} = \sum_a Q_{v\_feed,a,t,month} \times [NB_{a,t,month} - AS_{a,t,month}] \times day_{month} \quad (18)$$

The quantity and quality of standing biomass produced each month per hectare is calculated thanks to a sub model of herbage growth developed by Jouven et al., (2006). One cut per month at 3 cm above ground level (the length of standing grass beef cattle can graze) is simulated to approach

monthly production quantity and quality. The abscission parameter is estimated by dividing for each month the amount of biomass harvested for the current month when there was no cut the month before, by the sum of biomass harvested if there were a cut in the previous and current months. To simplify our model, grass quality of the sward is averaged according to the proportion of the different structural compartments 3 cm above ground level, and hay quality is supposed fixed.

### 3.2. Profits and costs

We assess farm earnings by computing their net profit. It is calculated as the difference between yearly products (sales and Common Agricultural Policy payments) and total costs (variable and fixed costs). Receipts from animal sales take into account the number of animals sold, their live weight at this period and their price (19). These prices are defined per year and per month, which enables us to introduce price modulation according to theoretical live weight (price per kg usually decreases with live weight for stored animals and increases for finished ones) and to temporary or permanent shocks on prices.

$$SALE_t = \sum_{a,p} (AS_{a,t,month} \times LW_{a,t,month} \times priA_{a,t,month}) + \sum_{v,p} (VS_{v,t,month} \times priV_{v,t,month}) \quad (19)$$

It is important to introduce CAP payments, as production decisions in suckler cow farms are highly influenced by them (Veysset et al., 2005). The CAP premium specification is flexible enough to take into account the different kinds of direct payments belonging to the first pillar (production support) which have been effective between 1998 and 2008 (20). These payments encompass Arable Area Payments (AAP), Product Specific Payments (PSP) and Single Farm Payment (SFP).

$$PREMTOT = 5000 + [AAP_t + PSP_t + sfp - 5000] \times (1 - mod) \quad (20)$$

Firstly, under the AAP scheme, different payments are given according to the area allocated to each crop activity (except fodder crops). PSP comprise special payments for suckler cows which are proportional to the number of eligible cows but with a ceiling imposed by historical entitlements (21). Payments for males and slaughtered animals are proportional to the number of eligible animals. The extensification payment is proportional to the number of eligible animals but attributed conditional to stocking rate thresholds (22). Under the SFP scheme (introduced by the CAP Mid Term Review of 2003), farms are allotted payment entitlements, which can be activated by matching them with the corresponding number of eligible hectares. In our model, farm size is fixed and all hectares eligible, SFP is therefore considered as a constant. Moreover under this scheme, direct payments are reduced in proportion to the modulation rate. However, 5 000€ per farm remain free of modulation.

$$\begin{cases} PSP\_cow_t \leq premcow \times \sum_{rep} NB_{rep,t,1} \\ PSP\_cow_t \leq max\_pspcow \end{cases} \quad (21)$$

$$\begin{cases} PSP\_LU1_t \leq e^{((sr1-SR) \times 10)} \\ PSP\_LU1_t \leq 1 \end{cases} \quad (22)$$

Variable costs can be divided into crop production and animal production costs. Crop production costs include costs assignable to the area of each crop activity, haymaking costs corresponding to the quantity of grass cut, insurance and fuel costs proportional to the total area of land farmed. Animal production costs comprise value of purchased feeds and diverse costs such as veterinary or feed complementation (vitamins, minerals etc.) proportional to the number of livestock units (21).

$$VCOST_t = \left[ \sum_{c,p} (X_{t,c} \times c\ cost_c) + \sum_p (CUT_{t,month} \times h\ cost_{month}) + \sum_{v,month} (VB_{v,t,month} \times v\ cost_{v,t,month}) \right] + LU_t \times lu\ cost + uaa \times uaa\ cost \quad (23)$$

### 3.3. The farmer's decision problem

#### 3.3.1. The objective function of the farmer:

Farmer preferences regarding their farm management are depicted by means of the objective function. In accordance with classic economic theories, our multi-periodic optimisation model assumes that farmers make decisions to maximise their expected utility of profit  $U$  (24) over a finite planning horizon  $T$ . Farmers then have to formulate preferences on profit distribution over time. Inter temporal choices involve tradeoffs among benefits occurring at different points in time. They typically include a discount factor on future utility, called Rate of Time Preference (RTP), to take into account farmer 'impatience', i.e. his preference to have money now rather than later. The other fundamental characteristic of time preference is the elasticity of inter-temporal substitution (EIS) which represents the aversion towards inter-temporal variations. It quantifies a "decision maker's desire to smooth out the stream of utility over time so one unit of discounted utility in each period is better than two units of discounted utility in a single period" (Frechette, 2005). We model these preferences through a discounted utility function of net profit. We specify a power functional form that corresponds to a Constant Relative Risk Aversion utility function (Hardaker et al., 2004). In the present case, we suppose that the wealthier the farmer is, the less averse to inter temporal variations he will be. Such a function requires net profit to be positive.

In equation 24, a terminal condition on the variable value of stock variation between the end and the

$$Z = \sum_{t=it}^T U(\Pi_t) = \sum_{t=it}^T \left( \left( \frac{1}{1+r} \right)^{t-1} \times \frac{\Pi_t^{1-\alpha}}{1-\alpha} \right) + \left( \frac{1}{1+r} \right)^T \times \frac{\Delta S^{1-\alpha}}{1-\alpha} \quad (24)$$

Where  $RTP = 1/(1+r)$ ;  $EIS = 1/\alpha$ ;

start of the planning horizon is introduced. Since the model operates in a finite horizon, it is necessary somehow to take into account stock variations to counterpart variation of net profit caused by stock depletion or accumulation.

### 3.3.2. The optimisation problem of the farmer:

The farmer's optimisation programme (25) consists in optimising monthly decisions related to animal sales and diets and feed product trades and haymaking, and annual decisions regarding fattening and reproduction objectives and crop acreages. These decisions have to take into account head number and average animal live weight dynamics as well as feed product quantities stored. They are restricted by structural constraints –land, labour and building- and biological bounds. Total acreage allocated to the different crops must be equal to farm usable agricultural area and acreage of permanent pasture must remain stable. We follow Veysset et al., (2005a) to represent labour and building constraints. Firstly, we limit livestock and number of crop growing activities “based on the principle that one livestock unit is equivalent to two hectares of cereal crops in labour terms”. Secondly, we consider that the main building constraint is linked to the number of calves as they are born indoors. Thirdly, live weight is bounded between +/-5% of the theoretical live weight which gives the model some flexibility without, according to expert knowledge, threatening reproduction performance and animal health.

$$\underset{AS, RRATE, SFAT, VS, VB, CUT, X}{Max} \quad Z = \sum_t U \left[ \Pi_t \left( AS_{a,t,month}, Q_{v\_feed,a,t,month}, RRATE_t, SFAT_{a,t}, \right) \right]$$

$$\left[ VS_{v,t,month}, VB_{v,t,month}, CUT_{t,month}, X_{c,t} \right]$$

With dynamics:

$$NB_{a,t,month} = \begin{cases} f(NB_{a,t,month-1}, AS_{a,t,month-1}) & \text{for inter year dynamics} \\ g(trans\_nb_{a,a2}, RRATE_t, SFAT_{a2,t}) \circ f_{a2,t-1, 'march'}(\cdot) & \text{for intra year dynamics} \end{cases}$$

$$LW_{a,t,month} = \begin{cases} h(LW_{a,t,month-1}, Q_{v\_feed,a,t,month-1}) & \text{for inter year dynamics} \\ i(trans\_lw_{a,a2}) \circ h_{a2,t-1, 'march'}(\cdot) & \text{for intra year dynamics} \end{cases} \quad (25)$$

$$ST_{v,t,month} = \begin{cases} l \left( ST_{v,t,month-1}, X_{c,t}, VS_{v,t,month-1}, VB_{v,t,month-1}, CUT_{t,p}, \right) & \text{for inter year dynamics} \\ \left( Q_{v\_feed,a,t,month-1}, AS_{a,t,month-1}, RRATE_t, SFAT_t \right) & \text{for intra year dynamics} \\ l_{v,t-1, 'march'}(\cdot) & \end{cases}$$

Under constraints:

$$\sum_{calves} NB_{a\_calf,t,month} \leq build ; lab(NB, X_{cer}) \leq lab\_max ;$$

$$\sum_c X_{c\_pp,t} = X_{c\_pp,0} ; \sum_c X_{c,t} = uaa ; ST_{v,t,month} \leq st\_max_v ;$$

$$tlw_{a,month} \times 0.95 \leq LW_{a,t,month} \leq tlw_{a,month} \times 1.05$$

### 3.3.3. Farmer anticipations and adjustments:

Farmer decisions depend on their expectation regarding their future profit. The planning horizon length they anticipate is important to determine model equilibrium over the long term and to assess how fast this equilibrium is reached. Farmers are assumed to plan their decisions for a five year horizon (as did Louhichi et al., 2004; or Barbier and Bergeron, 1999) which encompasses a whole cow-calf production cycle and considerably reduces the model size. These expectations also depend on what they anticipate the markets, agricultural policy and weather conditions might be in the future. We suppose farmers have adaptive anticipation of future “normal prices” (see Nerlove and Bessler, 2001, for a discussion about anticipation modelling). These future “Normal prices” depend on observed current prices and on their previous idea of “normal prices” (26).

$$P_t^* = P_{t-1}^* + \beta(P_{t-1} - P_{t-1}^*) \quad (26)$$

Where  $P^*$  is current anticipation for future normal price,  $P$  observed price and  $\beta$  a constant set at 0.5.

Rational anticipation is assumed for CAP conditions in year  $t_1$  and  $t_2$  since CAP reforms are usually announced at least one year before being enforced. Then, CAP conditions in year  $t_3$  and in subsequent years are supposed to be similar to those of  $t_2$ . Farmers are presumed to have no adaptive expectation for weather conditions as weather events are considered as independent. Only ‘average weather years’ are anticipated.

We follow Iglesias et al., (2003) and Barbier and Bergeron (1999) in using a recursive sequence of dynamic optimisations in order to cover the entire period of simulation and to update information about current environment conditions and farmer anticipation. Let  $n \{n_1, n_j, \dots, N\}$  be a year of the period of simulation and  $t \{t_1, \dots, t_i, \dots, T\}$  a year of the planning horizon the farmer is supposed to anticipate and  $S$  a set of state variables characterizing the farm at each time. Results corresponding to the optimisation  $n_j$  are then  $\{S(n_j+t_1), \dots, S(n_j+t_i), \dots, S(n_j+T)\}$ . The initial resources of the optimisation  $n_{j+1}$  are  $S(n_j+t_2)$ . Updated forage production information is introduced at this stage. The process is repeated  $N$  times. Hence what we would observe from the farmers’ strategies along the period simulated is  $\{S(n_1+t_1), \dots, S(n+t_1), \dots, S(N+t_1)\}$ .

## 4. Model parameterization and case study

We apply the model to an average farm of the northern area of the Massif Central which is well known for its Charolais breed suckler cow production. In order to identify farm types with similar production orientation, a hierarchical classification has been made over 65 farms extracted from the ‘Charolais farms’ database of the INRA Research Unit of Livestock Economics over the period 2000-2006 (Veysset et al., 2005b). A sample of 25 farms that produce mainly young Charolais bulls is made. Calibration of this model consists in setting parameters to simulate a farming system with structural, economic and biological characteristics close to those of farms producing young bulls in this area.

### 4.1. Parameterization

#### 4.1.1. Animal production:

Parameters used in the animal sub model refer to the Charolais breed parameters in INRA (2007) and Garcia and Agabriel (2008). Some values for parameter  $a_1$  of the Gompertz equation (10) have been slightly modified to match live weights observed at sale in the ‘Charolais farms’ database which are slightly lower than the theoretical ones (female: 0.97; young bulls: 1.3 ; steers: 0.34). Parameters of average daily gain function are regressed on data (energy for gain, ADG, live weight, and, for

fattening cow body condition score) from the same sources ( $R^2 > 0.94$ ). Cull rate (0.24), number of calves born per reproductive female (0.96), sex ratio (0.5) and mortality rates (9% for calves, 1% for the other) correspond to average annual records on the ‘Charolais’ database. Mortality is assumed to be spread evenly over the year except for calves for which we observe higher mortality rates before weaning.

#### *4.1.2. Crop production:*

Herbage growth sub model parameters of nitrogen nutrition index, soil water holding and floristic composition of pasture are calibrated to fit regional average annual production data ( $R^2 = 0.13$ ). Weather data are collected from Nevers station (Météo France 58160001). Cereal crop yields are set upon ‘Charolais’ database records. Fill value and energy content of maize, grain and hay are set according to INRA (2007) (CC0010, FV1770, FF0500).

#### *4.1.3. Cost and profit:*

Unit input costs and output prices correspond to average values observed in our dataset. CAP constraints are those of 2004. We assume a differential of 20% between crop products sold and bought to take into account the diverse transaction costs. Animal prices have been regressed on observed live weight per year and per animal class. Available data regarding harvest cost is expressed per ha whereas haymaking cost is formulated in € per ton in our model. As a consequence, cost per ton is estimated as the ratio between haymaking cost per ha and average abundance of grass per period.

#### *4.1.4. Objective function:*

We set RTP value at 96% per year and EIS at 7.14 according to Lence (2000) estimation based on aggregate annual farm data using consumption and asset return of U.S farms.

Parameters specific to the “young bull farms” case study:

Farm characteristics (table 4) are averaged over the sample of 25 farms. However, storage capacity was not filled in the database; values were therefore set in order to be coherent and not too restrictive. Non published parameters related to crop production, prices and costs are given in appendices 1-4.

*Table 4: Calibration for structural constraints*

Total area	Permanent pasture	Labour	Housing	Fixed cost	Storage capacity (in tons of dry matter)				
					Maize silage	grain	hay	straw	
150 ha	81 ha	230 units*	95 calvings	78 000 €	160	225	810	180	

*\*1 unit per Livestock unit and 2 per ha of cereals*

## 4.2. Model Initialisation

Our model contains 28 dynamic variables and four lagged variables related to crop acreage which requires initialisation. Initial values chosen are displayed in appendices 5 and 6. However, our model remains feasible and converges toward the same equilibrium (figure 1): 1) for a range of initial live weight stretching from -4.5% to +5% of theoretical live weight; 2) for initial number of animals leading to initial number of livestock units ranging between 80 and 163; 3) for initial feed stocks ranging from nil to maximum storage capacity allowed and 4) for initial crop acreage ranging from 100% to 72% of pasture crops, (according to the different constraints related to crop production and product storage, pasture crops cannot drop below 72% of total acreage). Although the model found a local optimum, this optimum appears robust and the domain of feasibility for dynamic variables wide.

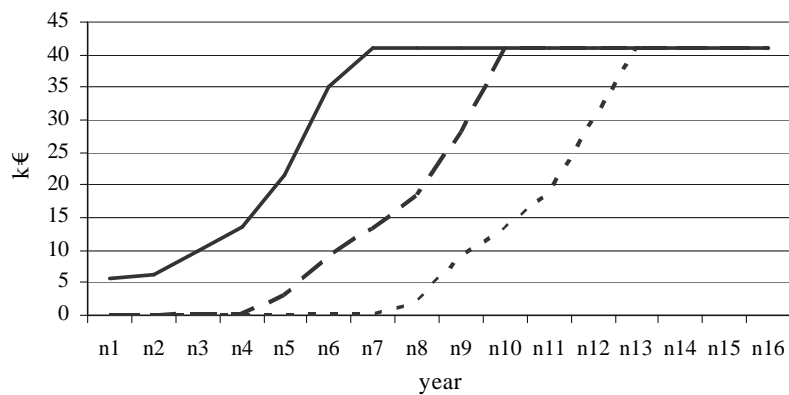


Figure 1: Convergence pattern of net profit according to different initial states which differ by: in solid line, initial animal live weight is set at 95% of theoretical live weight; in dashed line initial feed stocks are set to 0; in dotted line initial numbers of finished animals are set to 0 and lean animal at 0.9 of their reference initial value.

## 4.3. Main model outputs

For a 5 year simulation, our model resolved by GAMS/CONOPT software generates almost 10 000 outputs related to profit and costs, to animal and crop productions. To solve recursively a sequence of 15 years, around 10 minutes are necessary. Main results, at equilibrium, are displayed in table 5. An extended validation of the model output against data is provided in the companion paper.

Table 5: Main model outputs at equilibrium

Crop production results					
Pasture acreage in ha	Maize acreage in ha	Other cereals acreage in ha		Stocking rate	
108	12	30		1.36	
Animal production results					
Number of calving	Livestock units	% of young bulls sold	% of fat heifer	% of fat cow	Tons of animal sold
95	163	50	30	20	60.9
Economic results (in 1000€/year/farm)					
Net profit	Animal sales	Crop sales	CAP subsidies	Variable costs	
40.9	105.8	7.2	51.1	45.1	

## 5. Model Behaviour

Analysis of model behaviour aims at testing the implications of our model assumptions regarding its structure and its parameter values. As mentioned by Pannell (1997), ‘in practice there are many different possible ways to go about changing and observing the model’. We choose in this section, first, to gauge impacts of objective function parameters and of price anticipation parameter on convergence pattern and steady state. Secondly, we focus on steady state to perform an analysis of sensitivity to model parameters on some aggregate model outputs. The ability of the model to use different sources of adjustment to face a pasture production shock is tested.

### 5.1. Sensitivity of convergence pattern to objective function parameters

The objective function parameters we focus on are time preference parameters and length of the planning horizon. Evolutions of net profit from  $n_1$  -which corresponds to initial values of dynamic variables- to  $n_{10}$  -their equilibrium levels- are compared under constant prices, CAP and weather conditions, according to objective function parameters. A 10% variation of the discount rate ( $r$ ) or a 10% variation of the elasticity of interval temporal substitution ( $1/\alpha$ ) have no effect on the steady state or on the necessary time to reach equilibrium (7 years). However, higher discount rate and inter temporal substitution parameters induce flatter curves (figure 2). It corresponds to a preference for more regular revenue and for current profit. Cumulated profits over the first 10 years of the simulation are in these cases slightly lower (around 0.4%) when these parameters are 10% higher. Then, the convergence pattern of a long term planning horizon (30 years) is compared to that of a five year planning horizon (solved recursively). Similarly to what has been found for time preference

parameters, the convergence pattern of net profit is flatter in shorter horizon planning, and cumulated net profit over the first 10 years is reduced a little, probably because time preference parameters then have greater impacts.

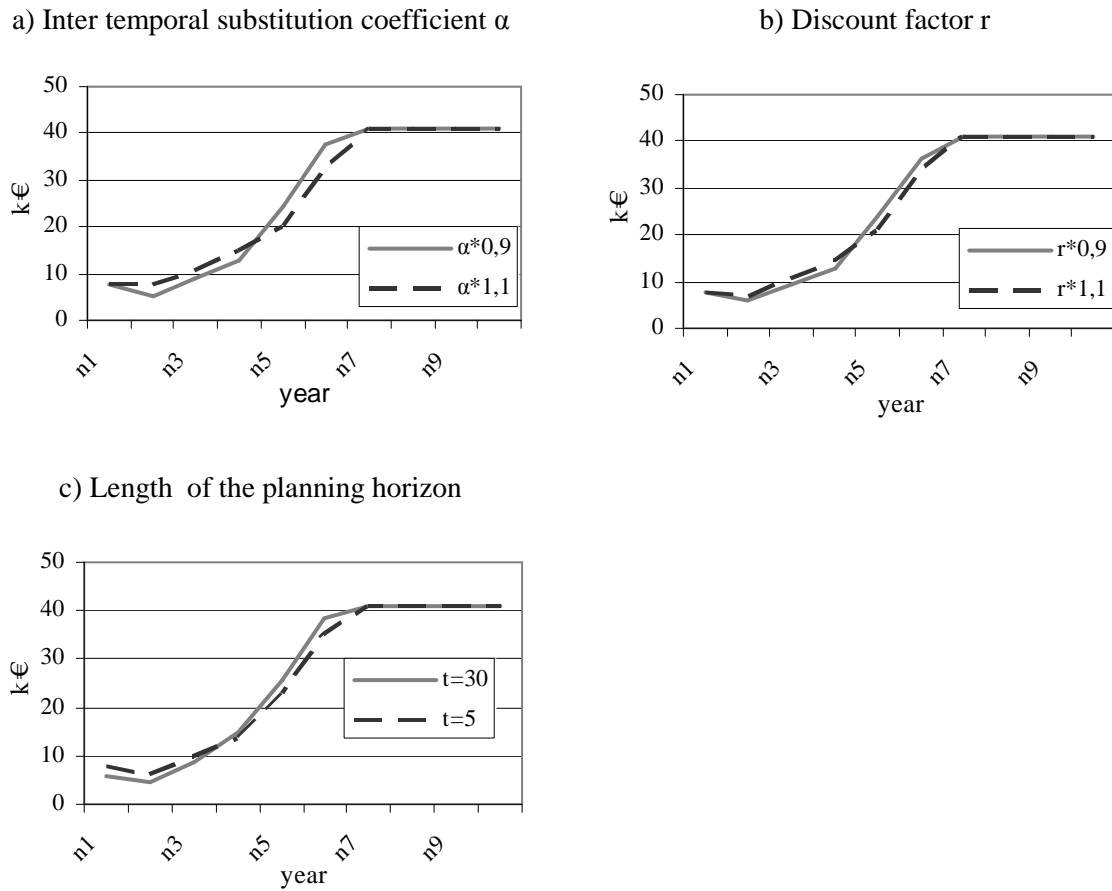


Figure 2: Convergence pattern of annual net profit according to time preference parameters (2a, 2b) and to the length of the planning horizon (2c)

## 5.2. Sensitivity of convergence pattern to price anticipation parameter

Parameter  $\beta$  (see equation 26) reflects the adjustment of future price expectations in relation to current ones: the higher the coefficient, the closer current and future expectations are. To test sensitivity of model prediction to a 10% variation of its value, a temporary price shock in  $n12$  (model is at steady state) consisting in multiplying stored animal prices by two is simulated. A lower  $\beta$  induces a higher surplus of animal sales in  $n12$  which corresponds to a more opportunist behaviour. Cumulated profit over the first 10 years is higher when anticipation is closer to real future price. However, sensitivity of net profit to parameter  $\beta$  remains low (a 10% variation of  $\beta$  induces a 0.3% variation of cumulated net profit).

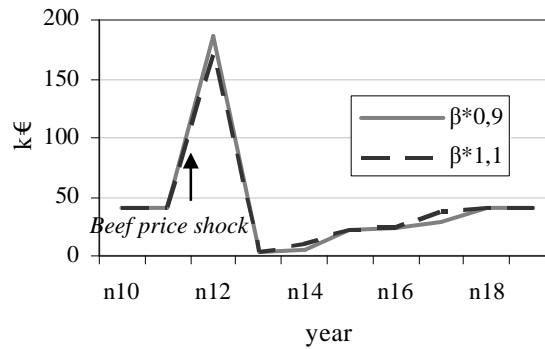


Figure 3: Sensitivity of net profit evolution after a beef price shock (n12) to parameter  $\beta$  (related price anticipation)

### 5.3. Sensitivity analysis of the steady state to production and economic parameters

We test sensitivity of model predictions at steady state to economic values (input and output prices, CAP payments), to crop and animal production parameters and to structural constraints. Due to the huge number of parameters, they are not tested individually and only the ones we thought the most relevant are displayed here. Sensitivity is assessed with normalized sensitivity coefficients (NCS), defined as the ratio between the rate of variation of the output variable and the rate of variation of the parameter. When NCS for positive and negative alteration are similar, a single sensitivity indicator is given (table 6).

Table 6: model steady state sensitivity to price and production parameters, and to structural constraints parameters

		GM	Past.	LU	LU/cow	kg AP	Kg GS
Price	Cereal	++	ns	ns	ns	ns	++
	Hay	ns	ns	ns	ns	ns	--
	All anim.	+++	ns	ns	ns	ns	ns
	Fat. anim	↑ ↓	+++ ++++	ns +++	ns ++++	ns ++++	ns ++
Cost	Crop	--	ns	ns	ns	ns	ns
	haymaking	-	ns	ns	ns	ns	ns
	LU	--	ns	ns	ns	ns	ns
CAP Premium	value	++	-	ns	ns	ns	++
	threshold	++	----	ns	ns	ns	++++
Crop yield	Grass	++	ns	ns	ns	ns	+++
	Grain	++	ns	ns	ns	ns	++++
	Maize	+	ns	ns	ns	ns	+++
	Abs. ar.	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Eenergy of crop produce	grass	++	+	+	ns	ns	++++
	hay	+	ns	ns	ns	ns	++++
	Grain and maize	++	ns	ns	ns	ns	++++
Fill value of crop produce	grass	-	ns	ns	ns	ns	---
	hay	ns	ns	ns	ns	ns	---
	Grain and maize	ns	-	ns	ns	ns	--
Anim. Prod.	mortality	-	-	-	-	ns	+++
	Culling rate	-	+	+	--	ns	--
	live weight range	+	ns	ns	ns	ns	+
	ADG range	ns	ns	ns	ns	ns	++
Structural constraints	calving	++	+++	+++	ns	++++	----
	labour	↑ ↓	ns ++	ns ++	ns ++	ns ns	ns ++++
	Uaa	↑ ↓	++ +	++ ----	ns ns	ns ns	+++ +++
	feed storage					ns	++
	Permanent pasture					ns	--

Where 'GM' annual gross margin ; 'past' % of pasture crops ; 'LU', number of livestock units, 'kg AP' kg of live weight produced, 'kg GS' kg of grain sold. Where '↑', '↓' signs indicate positive, negative alterations of the parameters respectively. Where positive or negative signs indicate the level of correlation between input parameter and output variable; '++++' and '----' indicate  $NCS > 1$  and  $NCS < 1$  respectively; '+++ ' and '--- ' indicate  $0.5 < NCS < 1$  and  $-1 < NCS < -0.5$ ; '++' and '--' indicate  $0.1 < NCS < 0.5$  and  $-0.5 < NCS < -0.1$ , resp.; '+' and '-' indicate  $0.01 < NCS < 0.1$  and  $-0.1 < NCS < -0.01$ , resp.; 'ns' indicates  $-0.01 < NCS < 0.01$ .

### *5.3.1. Prices, costs and subsidies:*

Gross margin is logically positively correlated with crop and beef product prices as well as CAP premium values and negatively to proportional costs and gross margin. The highest correlation corresponds to animal price. More than 60% of farm gross product comes indeed from animal sales. Contrary to a homogenous variation of animal price among animal categories, a heterogeneous one does affect sale profile. However, only a change in favour of lean animals modifies sales because at equilibrium the production of finished animals is already at its maximum level. When switching sales of finished animals for stored ones, herd needs lessen and grain sales are boosted. No such changes of the production system are observed when proportional costs or CAP premiums values are modified. Notwithstanding, a reduction of threshold for the extensification payment induces a reduction of the number of animals in order to lessen the stocking rate. An increase of this threshold has no impact since the model is already close to its maximal labour and building capacities. Relative prices between different crop products modifies animal diets and the subsequent feed produce surplus sales.

### *5.3.2. Crop production yield and crop product qualities:*

Crop production is characterized by its quantity (crop yield) and qualities (fill value and energy content). Crop yields and crop qualities are positively correlated with gross margin and with crop product sales. Better qualities decrease herd needs for grain which is concentrated in energy. Next, four parameters related to animal production are tested: culling rate, mortality rate, range of variations of live weight and daily weight gain. Both culling and mortality rates are negatively correlated with net profit. A rise of culling rate swaps a part of fat heifers with culled cows. Herd need for grain consumption increases (culled cows are finished at trough with maize silage and grains). If mortality increases, fewer animals are finished, thus reducing the consumption of cereals. If bounds on animal live weight widen, live weight of animals sold increases as well as net profit.

### *5.3.3. Farm structural characteristics:*

Bounds are added to the model in order to keep model outputs realistic. Most of these bounds are binding since model outputs are sensitive to their modifications. Limitation of calving number is a strong one. Relaxation of this constraint generates an increase in the quantity of animals sold while fewer animals are finished. Tightening of the labour constraint modifies both gross margin and production by decreasing the percentage of finished animals and by increasing the percentage of pasture crop acreage. Model outputs are sensitive to maize silage capacity: an increase in maize silage capacity engenders an increase in maize crop acreage and consequently a reduction in pasture crops and a growth of grain sales. The model is not very sensitive as regards the permanent pasture area. But, as a smaller acreage for crop rotation is available when permanent pasture area increases, the

model has to sow more 2<sup>nd</sup> cereal which has a lower yield. Structural constraints impose strong constraints on model outputs. It is necessary to keep them in mind while analysing model outputs.

#### 5.4. Ability of the model to mobilize different sources of adjustments to face an exogenous shock

We simulate a shock in year *n12* which consists in decreasing monthly pasture production by 10% (shock is perfectly known by farmers at the beginning of year *n12*). We test successively the consequences of three different sources of adjustment –energy content of diets, animal sales and feed product purchase- to cope with this pasture produce shortage. Other production control variables are set at their steady state value. Whatever the source of adjustment, net profit comes very near to the equilibrium (more or less 200€) two years after shock occurrence (figure 4). Adaptation to forage supply shortage consists in year *n3* in forced sales of cows before the end of fattening and of some two year old heifers. As a consequence, fewer three year old heifers can be sold the following year. When animal feed is restricted, live weight of both stored and sold animals is affected but most of the weight loss is borne by cows which need eight years to recover totally. Finally, supplementary hay and grain are purchased in years *n12* and *n13*. Different sources of adjustments are then possible to face a similar shock.

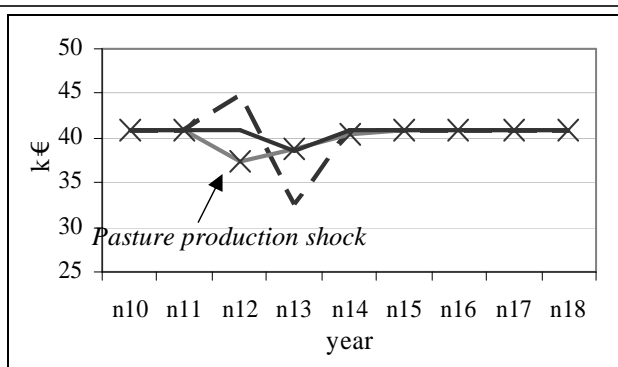


Figure 4: Evolution of net profit following a 10% loss of forage production in *n3*. In dotted line, adjustment allowed is animal sales, continuous line corresponds to crop product trade adjustments and continuous line with crosses to animal live weight adjustments

## 6. Discussion

Model objectives are to simulate optimal adjustments of the production system and to predict evolution of production and economic results following production or market shocks. This section aims at discussing whether our modelling choices have succeeded in reaching these objectives. Evaluation criteria are 1/ to provide enough flexibility to reflect the range of possibilities that farmers have in order to adapt to different market and weather conditions, 2/ to ensure that adaptations simulated are optimal on farmer objectives and 3/ to contribute to improving the existing livestock model.

## **6.1. Model flexibility**

Flexibility is the ability to adapt quickly to different circumstances. It depends then on the range of activities available, on adjustment possibilities and on farm constraints that may limit changes.

### *6.1.1. Range of production activities proposed:*

Our model provides a wide range of animal production possibilities. Females can be sold at 49 different periods, males at 24 periods and at each of these period animals can be sold at more or less 5% of their theoretical live weight. A monthly defined price takes into account depreciation or appreciation of animals when getting older and then heavier. This makes it possible to favour some periods of sales without forbidding others. Some weaknesses come from the fact that calving day is fixed and does not give as many possibilities as in the real situation, namely calving from autumn to spring. In addition, it is sometimes advised to limit risk of feed produce shortage to have two calving periods. In our model, modifying the calving day would necessitate adjusting some model parameters. However, it does not seem reasonable to introduce two periods of calving: variables related to animal production would be multiplied by two and given the already high number of activities, model size would considerably increase. Few crop activities are proposed. In addition, marginal or innovative production technologies are not proposed; neither are diversification activities. The purpose of this model is to study main stream suckler cow farms and it cannot be used for a farm specialised in cereal crop production. It focuses instead on detailing intra-year animal, pasture and conserved feed management adjustments to seasonal conditions.

### *6.1.2. Production adjustments available:*

Short term adjustments (i.e. monthly decisions) are related to number and live weight of animals sold, animal diet composition and energy content, purchase and sales of crop products, and the quantity of grass harvested. These decisions can be revised each month if more information becomes available. These sources of adjustments provide a wide range of possibilities for the model to dynamically adapt to shocks. However, some can argue that as we do not offer the possibility of buying animals, such as for instance Louhichi et al., did (2004), the time simulated for recovery after a shock may be overestimated. Our decision is motivated by two aspects. Firstly, our model does not include possibilities such as saving or borrowing to finance investments. Secondly, most farmers prefer to raise animals coming from their own farm to reduce health problems due to foreign animals. Deciding sequentially the end use –grain or forage for instance- of some multi-purpose crop productions such as wheat (Jacquet and Pluvillage 1997) or maize (Coleno et al., 2002) can also help farmers to adapt to temporary shocks. Notwithstanding, these practices may be efficient and innovative, but they are not

currently widespread within the studied area. In this version of the model, we have concentrated on detailing the sources of adjustments most commonly used in France.

### *6.1.3. Limitation of adjustments by model constraints:*

Adjustments are limited by different constraints related to farm structure or animal biology. At equilibrium, some constraints are at the upper bounds. For instance, the simulated farm can hardly adapt to favourable conditions by producing more or heavier animals, or by decreasing pasture production. This limitation could have been partially offset by introducing possibilities for labour hiring and investments. However, those who have done so, most of the time add additional constraints to limit enlargement (Ridier and Jacquet, 2002). We therefore face the same problem. Moreover, dual values of constraints displayed in GAMS outputs gives valuable insights to appreciate the propensity for enlargement according to the different scenarios studied. Our models can though adapt to shocks by producing less or by producing differently, modifying for instance diet or herd composition.

## **6.2. Optimality of the decisions simulated**

Values of the different variable decisions proposed by the model are set by the model in order to optimise an objective function which is supposed to be valid whenever and wherever the model is solved. However, this optimality is conditioned by current values of dynamic variables, model parameters and the manner the optimisation problem is solved.

### *6.2.1. Recursive deterministic programming and optimality of model predictions:*

Within the framework we adopted, optimisation is not performed over the entire period of simulation. Model predictions for a given year are therefore optimal regarding the five year planning horizon but not necessary optimal regarding the entire period of simulation. It points out two issues concerning the length of the planning horizon and the deterministic framework adopted. An infinite horizon or a very long planning horizon are thought to be the best to find optimal steady state and optimal convergence pattern. If short horizon planning often converges to the same steady state, rate of convergence is often faster (Dawid, 2005). But the computational problem quite rapidly becomes intractable in long horizon planning and the foresight capacity of agents can be considered as overestimated (Blanco and Flichman, 2002). Section 5.1 proves that, in our context, the recursive framework adopted could be made without altering the results very much. Short and long term impacts of decisions can be tested within this framework. Secondly, contrary to stochastic programming model, deterministic recursion presupposes that farmers do not anticipate shocks. Decisions prior to shock occurrence that could have mitigated shock impacts are consequently not taken into account in this model.

### *6.2.2. Stability of optimal decisions upon model parameterization:*

Animal and crop decisions at steady state are not very sensitive to model parameterization except to values of beef prices and to some CAP constraints. These decisions are then optimal only upon certain beef market and CAP conditions. In this kind of model we sometimes observe threshold effects. The model can appear very stable in a range of parameter values, but outside this interval, switches can be abrupt. The rather continuous specification of our model functions limits this problem, but only partially.

### **6.3. Originality of our dynamic bio economic model**

Originalities of our model lie first in our specification of the production system. It indeed introduced a higher degree of flexibility than other bio economic livestock models found in the literature. On the one hand, most dynamic bio economic models allow animal diet composition to vary but dynamics of animal live weights remain exogenously given. To date, these characteristics are fully endogenous only in Lambert (1989) and Kobayashi et al., (2007). However, live weight management is not individualized for the different kinds of animals whereas it might be of interest for farmers to favour for instance animals for sales. On the other hand, some models explicitly incorporate feed stock dynamics (Barbier and Bergeron, 1999; Louhichi et al., 2004 etc.), but they concern dynamics of conserved forage. None of them have explicitly integrated standing grass biomass stock dynamics. This confers on our model possibilities of modulating forage use (grazing or haymaking) according to seasonal conditions, given that current use will affect future availability of hay and standing biomass. Secondly, like most of these models, decision variables are made to maximise a sum of discounted utility of annual gross margin. However, time preferences and farmer anticipations are explicitly taken into account. The recursive dynamic framework adopted gives us the possibility of simulating impacts of non-expected shocks on farmer decisions over both the short and the long term.

## **7. Summary and conclusion**

We developed a dynamic bio-economic model which has the ability to offer both detailed production specifications of suckler cow farm and an economic representation of farmer behaviour. The originality of our model lies in its mechanistic approach to production and above all the monthly optimal control of 29 dynamic variables, including those of animal live weight and pasture production. This gives the model lots of flexibility to adapt herd and feed supply management to seasonal environment. In addition, its recursive optimisation framework offers the possibility of assessing farm evolution on both short and long term horizons while keeping model size tractable and of introducing unexpected shocks. A model evaluation and a model application are provided in a companion paper.

## References

- Antle, J. M. 1983. Sequential Decision Making in Production Models," *Am. J. of Agr. Econ.*, 65, 282-290
- Barbier, B., Bergeron, G., 1999. Impact of policy interventions on land management in Honduras: results of a bio-economic model, *Agr. Syst.*, 60: 1-16
- Blanc F., Bocquier F., Agabriel J., Dhour P., Chilliard Y., 2006. Adaptive Abilities of the Females and Sustainability of Ruminant Livestock Systems. A review. *Anim. Res.* 55 (6), 489-510
- Blanco, M.F, Flichman, G., 2002. Dynamic optimisation problems : different resolution methods regarding agriculture and natural resource economics, working paper available online at [http://www.iamm.fr/bn/pdf/publi/flichman-2002-dyn\\_opti.pdf](http://www.iamm.fr/bn/pdf/publi/flichman-2002-dyn_opti.pdf)
- Coleno, F.C., Duru, M., Soler, L.G., 2002. A simulation model of a dairy forage system to evaluate feeding management strategies with spring rotational grazing, *Grass and For. Sc.* 57,312-321
- Crosson, P. O'Kiely, P., O'Mara, F.P., Wallace, M, 2005. The development of a mathematical model to investigate irish beef production systems *Agr. Syst.*
- Dawid, H., 2005. Long horizon versus short horizon planning in dynamic optimization problems with incomplete information, *Econ. Theory*, 25, 575-597
- Frechette, D.L., 2005. How does aversion to intertemporal variation affect hedging behaviour? *Agr. Econ.* 33 :389-398
- Frederick, S., Loewenstein, G., O'Donoghue, T., 2002. Time discounting and time preference: a critical review, *J. Econ. Lit.* 40, 351-401
- Garcia, F., Agabriel, J., 2008. CompoCow: a predictive model to estimate variations in body composition and the energy requirements of cull cows during fattening, *J. of Agr. Sc.*, in press
- Gateau, C., Novak, S., Kockmann, F., Ruget, F., Granger, S., 2006. Évaluation du potentiel herbager de sa variabilité en élevage allaitant. Régionalisation de la démarche ISOP en Saône et Loire, *Fourrages*, 186, 257-269
- Hardaker, J. B. M. Huirne, R. B. Anderson J. R., Lien, G. 2004. *Coping with Risk in Agriculture*, 2nd Edition. CABI Publishing, Wallingford, UK
- Hoch T., Begon C., Cassar-Malek I., Picard B., Savary-Auzeloux I., 2003. Mécanismes et conséquences de la croissance compensatrice chez les ruminants. *INRA Prod. Anim.* 16, 49-59.
- Havlík P., Veysset P., Boisson J.M., Lherm M., Jacquet F., 2005. Joint production under uncertainty and multifunctionality of agriculture: policy considerations and applied analysis, *Eur. Rev. of Agr. Econ.*, 32 (4), 489-515
- Iglesias, E., Garrido, A., Gomez-ramos, A., 2003. Evaluation of drought management in irrigated areas, *Agr. Econ.*, 29, 211-229
- Jacquet, F., Pluvinage, J., 1997. Climatic Uncertainty and Farm Policy: A Discrete Stochastic Programming Model for Cereal-Livestock Farms in Algeria, *Agr. Syst.* 53, 387-407
- Janssen, S., Ittersum, M.K., 2007. Assessing farm innovations and responses to policies: a review of bio-economic farm models, *Agr. Syst* 94 :622-636
- Jouven, M., Baumont, R., 2008. Simulating grassland utilisation in beef suckler systems to investigate the trade offs between production and floristic diversity, *Agr. Syst.* 96, 260-272

- 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 For. Sc.*, 61: 112-124
- Kingwell, R.S, Pannell, D.J., Robinson, S.D., 1993. Tactical responses to seasonal conditions in whole farm planning in western Australia. *Agr. Econ*, 8, 211-226
- Kobayashi, M., Howitt, R.E, Jarvis, L.S, Laca, E.A., 2007. Stochastic rangeland use under capital constraints, *Amer. J. Agr. Econ.* 89 (3), 205-817
- Lambert, D.K. 1989. Calf retention and production decisions over time. *West. J. of Agr. Econ.* 14(1) 9
- Lence, S.H., 2000. Using a consumption and asset return data to estimate farmers' time preference and risk attitudes, *Amer. J. Agr. Econ.* 82(4), 934-947
- Le Goffe P. 2003. Multifonctionnalité des prairies : comment articuler marché et politiques publiques ? *INRA Prod. Anim.*, 16 (3), 175-182
- Liénard G., Lherm M., 1986. Bases économiques du choix d'un type de production de viande bovine. Cas des troupeaux allaitants. *Prod. de Vi. Bov.* 273-330.
- Louhichi, K., Alary, V., Grimaud, P., 2004. A dynamic model to analyse the bio-technical and socio-economic interactions in dairy farming systems on the Reunion Island, *Anim. Res.* 53, 363-382
- Matthews, K.B., Wright, I.A., Buchan, K., Davies, D.A., Scharz, G. (2006). Assessing the options for upland livestock systems under CAP reform: Developing and applying a livestock systems model within whole farm systems analysis, *Agr. Syst.*, 90, 32-61
- Nerlove, M., Bessler, D.A., 2001. Expectations, Information and Dynamics, In: Gardner and G.C. Rausser, (eds) *Handbook of Agricultural Economics*, volume 1A B.L. North Holland, pp 155-201
- Nicholson, C.F., Lee, D.R., Boisvert, R.N., Blake, R.W., Urbina, C.I, 1994. An optimization model of the dual-purpose cattle production system in the humid lowlands of Venezuela, *Agr. Syst.* 46, 311-334
- Olson, K.D., Mikesell, C.L., 1988. The range stocking decision and stochastic forage production, staff paper p988-16 of university of Minnesota
- Pannell, D.J. 1997. Sensitivity analysis of normative economic models: theoretical framework and practical strategies, *Agr. Econ.*, 16, 139-152
- Pannell, D.J., Malcolm, B., Kingwell, R.S., 2000. Are we risking too much? Perspectives on risk in farm modelling, *Agr. Econ.*, 23, 69-78
- Ridier, A., Jacquet, F., 2002. Decoupling Direct Payments and the Dynamics of Decisions under Price Risk in Cattle Farms *J. Agr. Econ.* 53(3) 549-565
- 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, *Comp. and Elec. in Agr.* 42, 67-86
- INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins, (eds) QUAE
- Veysset, P., Bebin, D., Lherm, M., 2005a. Adaptation to Agenda 2000 (CAP reform) and optimisation of the farming system of French suckler cattle farms in the Charolais area: a model based study, *Agr. Syst.*, 83, 179-202
- Veysset, P., Lherm, M., Bebin, D., 2005b. Évolutions, dispersions et déterminants du revenu en élevage bovin allaitant charolais : étude sur 15 ans (1989-2003) à partir d'un échantillon constant de 69 exploitations, *INRA Prod. Anim.* 18(4), 265-275

## APPENDIX

### *Appendix 1: Parameters related to crop production*

	GRAIN (1ST CEREAL)	STRAW	MAIZE
AVERAGE YIELD (TONS/HA)	5.6	3.5	9.0
AVERAGE PRICE AT SALE (€/TON)	110	50	/

### *Appendix 2: Parameters related to forage production*

	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Nov.
Cost to harvest hay in €/100kg ('hcost')	15.5	5.6	33	4.1	4.8	5.0	/
Abscission in % ('abs')	0.96	0.79	0.59	0.60	0.72	0.81	0.84

### *Appendix 3: Parameters related to pasture growth model*

	Permanent pasture	Temporary pasture
Grasses from group A (%)	30	10
Grasses from group B (%)	70	90
Nutrition index	0.61	0.75
Water holding capacity in (mm)	40	50

### *Appendix 4: Average animal prices over the period 2000-2006 (in €/kg of live weight):*

	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
cow	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59
fcow	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.58	1.61	1.63	1.64	1.64	1.64
fheif3	1.52	1.57	1.62	1.65	1.67	1.70					
fmal2	1.76	1.77	1.78	1.79	1.80	1.81					
fsteer2	1.79	1.81	1.82	1.83	1.84	1.85	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86
heif1	2.27	2.24	2.21	2.19	2.16	2.13	2.10	2.08	2.06	2.04	2.02
heif2	1.55	1.63	1.70	1.77	1.84	1.92	1.91	1.90	1.89	1.88	1.87
mal1	2.51	2.48	2.44	2.40	2.36	2.32	2.28	2.24	2.21	2.18	2.15
prim	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59

Note: prices take into account theoretical animal live weight at each month

Appendix 5: Initial values for animal numbers and animal live weight

	Female calf	Male calf	1 y.o. heifer	2 y.o. heifer	Primiparous cow	Multiparous cow	1 y.o male	2 y.o bull	Fat. Cow	Fat heifer
Initial number (head)	24	24	30	14	11	40	24	24	11	11
Initial Live weight (kg)	45	48	98	373	526	650	113	468	650	526

Note: initial number of steers are nil

Appendix 6: Initial values for crop product stored and initial crop acreage

Initial quantities of feed stores (in tons)				Initial crop acreage (in ha)				
hay	grain	straw	Maize silage	Permanent grass	Temporary grass	1st cereal	2nd cereal	Maize
2	10	10	30	81	44	15	0	10



## **A dynamic bio-economic model to simulate optimal adjustments of suckler cow farm management to crop production and market shocks.**

### **II. Model evaluation and application**

C. Mosnier<sup>a</sup>, J. Agabriel<sup>a</sup>, M. Lherm<sup>b</sup>, A. Reynaud<sup>c</sup>

<sup>a</sup> INRA, UR1213 Herbivore, F-63122 Clermont-Ferrand

<sup>b</sup> INRA, UR506, Laboratoire d'économie de l'élevage, F-63122 Clermont-Ferrand

<sup>c</sup> TSE (LERNA-INRA), Université de Toulouse 1, 31042 Toulouse Cedex.

*Corresponding author: cmosnier@clermont.inra.fr*

#### **Abstract**

*French beef cattle farms are challenged by a changing environment. This study aims at building and applying a dynamic farm model to predict how shocks impact on farm outcomes when farm adaptive capacity is taken into account. An evaluation of economic and technical variables simulated against a panel dataset demonstrates that simulated variables are quite close to observed ones. Crop yield and beef price shocks of intensities ranging between -60% and +60% of their average values are then simulated. Five indicators are computed to appraise production adjustments following shocks, of animal sales, diet composition and diet weight gain, crop trade and haymaking. The optimal mix of production adjustments evolves according to the kind of shocks (price or crop yield) and to their intensity. However, preference for maintaining animal sales at the expense of crop product trade is found for moderate shocks. Impact of shocks on net profit, when taking tactical decisions into account, increases with shock intensity but gains in good years are not perfectly symmetrical with losses in bad ones.*

#### **Keywords:**

*Dynamic recursive model; Livestock; Tactical adjustments; Price shock; Crop yield shock*

## **1. Introduction.**

Price and weather shocks challenge farmers who need to adapt their farming system continuously and reactively, as well as policy makers and insurers who need to understand and predict how farms are affected by these shocks. Numerous sources of flexibility in production management can help farmers to cope with these shocks. Neglecting them can lead to misevaluating shock impacts (Antle 1983). In addition, it is of great interest for farmers, as mentioned by Pannell et al., (2000), to gauge “*how to respond tactically and dynamically to unfolding opportunities or threat to generate additional income or to avoid losses*”. The main objectives are then to characterize relationships between shocks, optimal adjustments and evolution of the farm, focusing on market and crop production shocks. This work is written in two separate papers. A detailed description of model specification is provided in the companion paper. In the present paper, the outcomes of the model are evaluated against empirical data. Then beef price and crop yield shocks of various intensities are simulated.

## **2. A brief description of model structure and its parameterization**

The model is formulated to represent average French suckler cow farms. Such farms consist of beef cattle production based on a suckler cow herd and of grain and forage crop production. This production system must be managed by a farmer over a finite horizon of  $T$  years. Each year starts in April at the beginning of the grazing season and is divided into monthly intervals.

The cattle herd is characterized by twelve annual animal classes which differ in age, sex and fattening or storage objective. Classes are described by two dynamic variables: the number of animals and their average live weight. These dynamics can be controlled by monthly decisions related to animal sales, diet, reproduction and rate of fattening. Concerning crop production, five feeds (grazed grass, hay, maize silage, grains and straw) can be produced from four different crop productions (permanent and temporary pasture, maize, two kinds of cereals). They are characterized by their qualities and their quantities. Feed quantities are dynamic variables as their values depend on balance between previous stock and decisions of produce consumed by the herd, produce purchased and sold. Grass production is calculated on a monthly basis thanks to an herbage growth model developed by Jouven and Baumont (2006) and filled with weather data from Nevers meteorological station (Météo France). Cattle production is parameterized for the Charolais breed (INRA, 2007; Garcia and Agabriel, 2008).

Our model assumes that farmers make decisions to maximise their utility of net profit over a 5-year planning horizon. Introducing the utility function takes into account farmer inter-temporal preferences which may favour current or regular income. Net profit is defined as the difference between annual receipts (sales and Common Agricultural Policy - CAP- payments) and costs (variable

and fixed). Moreover, it is assumed that farmers adjust their decisions when new information becomes available. This is modelled thanks to a recursive sequence of multi-periodic optimisations. Each optimisation is reinitialised by incorporating dynamic variable values of the previous optimisation and updated market, weather or CAP conditions.

Structural characteristics of the model are calibrated to represent the average farm of our sample (a 25-farm sample oriented towards the production of young bulls in the North of the Massif Central over the period 2000-2006). The total land is equal to 150 ha of which 81 ha is permanent pasture. Due to storage capacity limitation, we limit the land allocated to maize silage to 11.4 ha. The maximum number of calvings must be less than 95 per year because of housing capacity. Finally, the number of livestock units plus twice the area of cereal crops should not exceed 230 units for labour reasons.

### **3. Model evaluation against observed farm data**

Evaluation of our model outputs against real data from the sample of 25 farms consists in comparing not only average results but also their evolution over the period 2000-2006.

#### **3.1. Introduction into our model of farm environment evolution between 2000 and 2006**

During the period 2000-2006 several shocks and changes occurred. Regarding beef prices, the BSE crisis in 2001 caused a major beef consumption crisis, leading to a sharp fall in beef prices (-15%) and difficulties for farmers in selling their animals. Since then, beef prices have continuously increased until 2006 at an average rate of 10 euro cents per year (appendix 1). Weather conditions fluctuated as well, with chiefly a drought in 2003 that significantly reduced crop yields and raised cereal prices. CAP conditions evolved from 2000 to 2006. Firstly, Agenda 2000 was progressively enforced with a rise of animal payments between 2000 and 2003. Then, the Luxembourg 2003 reform was gradually implemented with, since 2005, a cut off of direct payments because of modulation and since 2006 a decoupling of direct payments (total for extensification payment and male premiums, nil for suckler cow and 75% for the remainder). The model is at an equilibrium corresponding to 'average' prices and 'average' crop yields when the real sequence of 2000-2006 is simulated. Prices and CAP regulation are updated each year as well as anticipations (see part I of this paper); crop production yields are updated each month.

#### **3.2. Main results**

The main features of the simulated system meet our requirement since the average level of outputs (table 1) lie within an interval which corresponds to the observed mean plus or minus one standard deviation (except for the percentage of pasture area cut which is underestimated). Coefficients of determination and of correlation between simulated and observed variables for the

period 2000-2006 show that simulated net profit, beef receipts, CAP payments and concentrate feed per livestock unit can explain the observed variations and direction of changes. Coefficients for the other variables are more or less accurate.

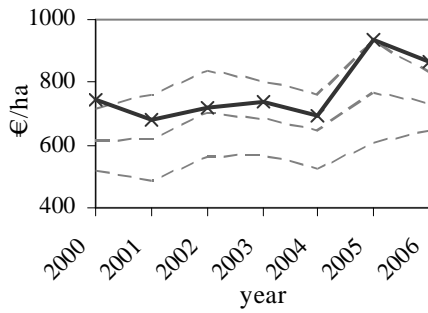
Table 1: Evaluation of simulated values against empirical observations.

		2000-2006 mean			2000-2006 evolution	
		simulated	validation interval*		R <sup>2</sup>	correlation
Crop production	% pasture	72	[71 ;	93]	/	/
	% of cereals	20	[6 ;	24]	/	/
	% of maize	8	[0 ;	8]	/	/
	% of pasture cut	31	[35 ;	54]	5%	-23%
Stocking rate		1.33	[1.10 ;	1.49]	32%	57%
Animal production	kg produced	394	[293 ;	429]	26%	51%
	kg sold	409	[276 ;	442]	33%	57%
Distribution of animal sales	% of males fattened	100	[42 ;	100]		
	% of heifers fattened	66	[32 ;	100]	32%	56%
	3 y.o. heifer	689	[657 ;	768]	/	/
Live weight at sales	Young bull	711	[600 ;	776]	/	/
	Fat cow	757	[727 ;	813]	/	/
Concentrate feed consumed in kg /LU		476	[430 ;	1043]	67%	82%
Economic results in €/ha	gross margin	768	[555 ;	801]	72%	85%
	animal product	720	[498 ;	773]	80%	89%
	variable costs - cereal receipt	324	[172 ;	367]	30%	54%
	CAP payment	319	[243 ;	382]	91%	95%

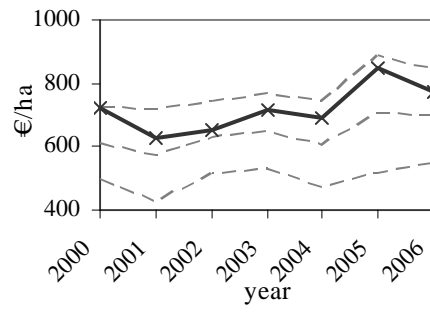
\* average observation plus or minus one standard deviation

Evolutions of simulated and observed farm variables are displayed in Figure 1. Model predictions match observations when it simulates: 1/ falls of net profit and beef receipt in 2001 caused by the BSE crisis, 2/ their subsequent increasing trends linked to the rise of beef prices, and, 3/ the two peaks of 2003 and 2005. These peaks correspond, in our model, to an increase in the quantity of beef sold because of the 2003 drought and in 2005 to the combined impacts of adverse weather conditions, the decoupling of some CAP subsidies and a change in beef prices becoming more favourable to lean animals. However, we observe in commercial farms neither the total and rapid switch from sales of finished 3 year old heifers into sales of stored 2 year old heifers nor a constant animal live weight at sales. Similarly, the simulated increases of variable costs and of concentrate feed per livestock unit around 2003 match observations quite well but simulated variables appear more sensitive to annual conditions than observed ones.

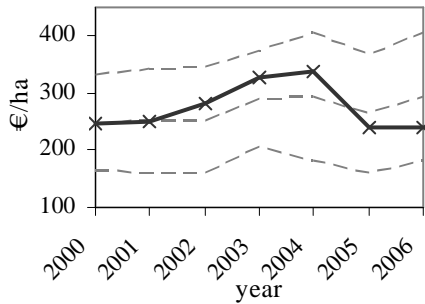
a) Gross margin (€/ha)



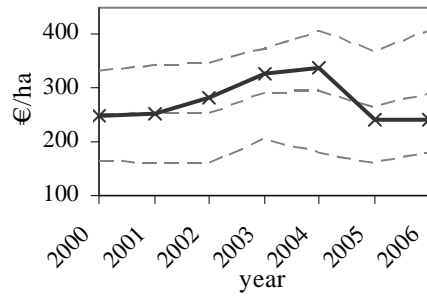
b) Animal receipt (€/ha)



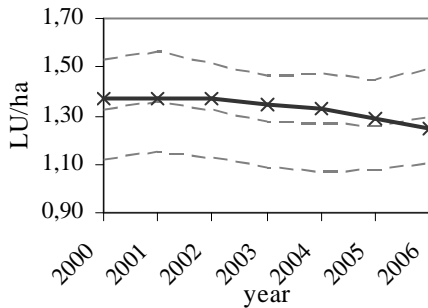
c) Variable costs minus crop sales (€/ha)



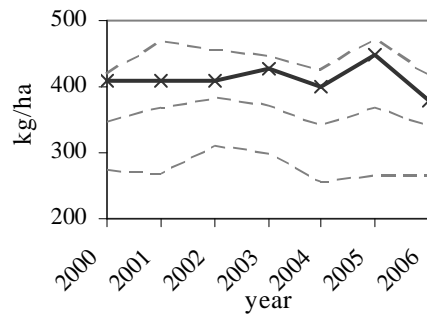
d) CAP payment (€/ha)



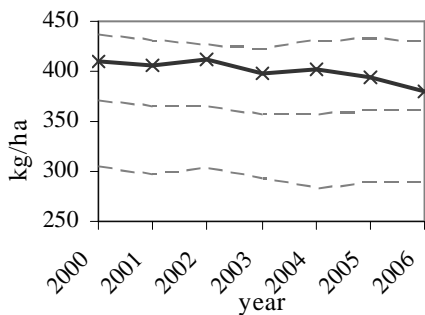
e) Stocking rate (LU/ha of forage crops)



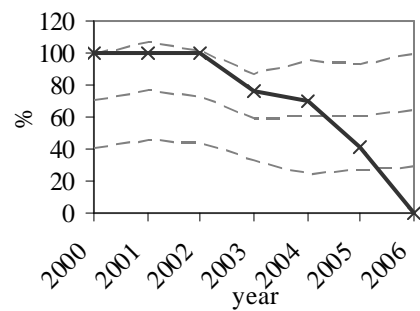
f) Quantity of animal sold (kg of live weight /ha)



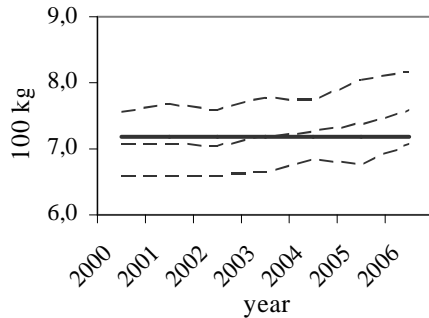
g) Quantity of animal produced (kg of live weight /ha)



h) Finished heifers sold (% of young female sold)



i) Average live weight of finished animal at sales (kg/head)



j) Concentrate feed consumed (kg/LU/year)

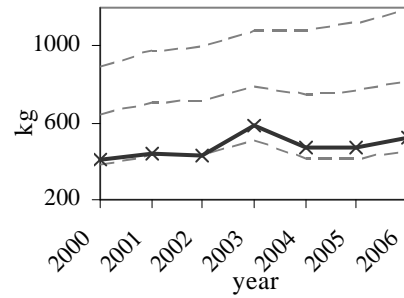


Figure 1: Evolution of simulated (—) and observed variables from 2000 to 2006. Dashed lines (---) correspond to observed mean variables plus or minus one standard deviation.

## 4. Model application: model response to price and crop yield shocks

### 4.1. Method

In order to assess beef price or crop yield shocks and shock/farm response relationships, shocks of intensities ranging from -60% to +60% of their average values are introduced into the simulated time span, i.e. the year referred to as “ $n3$ ” between average years. We consider that the different animal types or crop production yields are affected in the same proportion. Potential interactions of these shocks with other parameters are not taken into account.

### 4.2. Results

#### 4.2.1. Production adjustment:

Five aggregated indicators of production management are calculated to appraise adjustments of production management in year  $n3$  when beef price ( $a$ ) or crop yield ( $b$ ) shocks occurred (figure 2). They correspond to the rate of variation (differential between production decision values in year  $n2$  and in year  $n3$  divided by their values in year  $n2$ ) of the following aggregated variables:

- ‘animals sold’ which takes into account the number of animals sold and their live weight at sale (and indirectly their age)
- ‘grain in animal diet’ which gives insight into diet composition,
- ‘weight gain’ which is the animal live weight gain accumulated over the year by the different animal classes (class size is not included),
- ‘pasture cut’ which is equal to the number of hectares cut multiplied by number of cuts,

- 'crop trade balance' which corresponds to the quantity of crop produce sold minus the quantity bought, and provides information about adjustment of feed supply,

A preference for maintaining animal sales is found for shocks of intensities ranging between -30% and +30%. In the case of crop yield shocks, grains partly compensate the variation in forage products in animal diet. Consequently, the trade in crop products is modified. As expected, sales are greater in good years whereas purchases increase in bad years. The areas of pasture cuts are positively correlated with crop yield shocks. When the intensity of shocks increases, the variation in animals sold increases too, either by necessity in order to decrease variable costs or by opportunism to take advantage of exceptional prices. Crop product sales are adjusted when price shocks are very serious to buffer variation of beef receipt. Animal weight gains tend to increase for favourable shocks and decrease for adverse years. However these variations are not very significant.

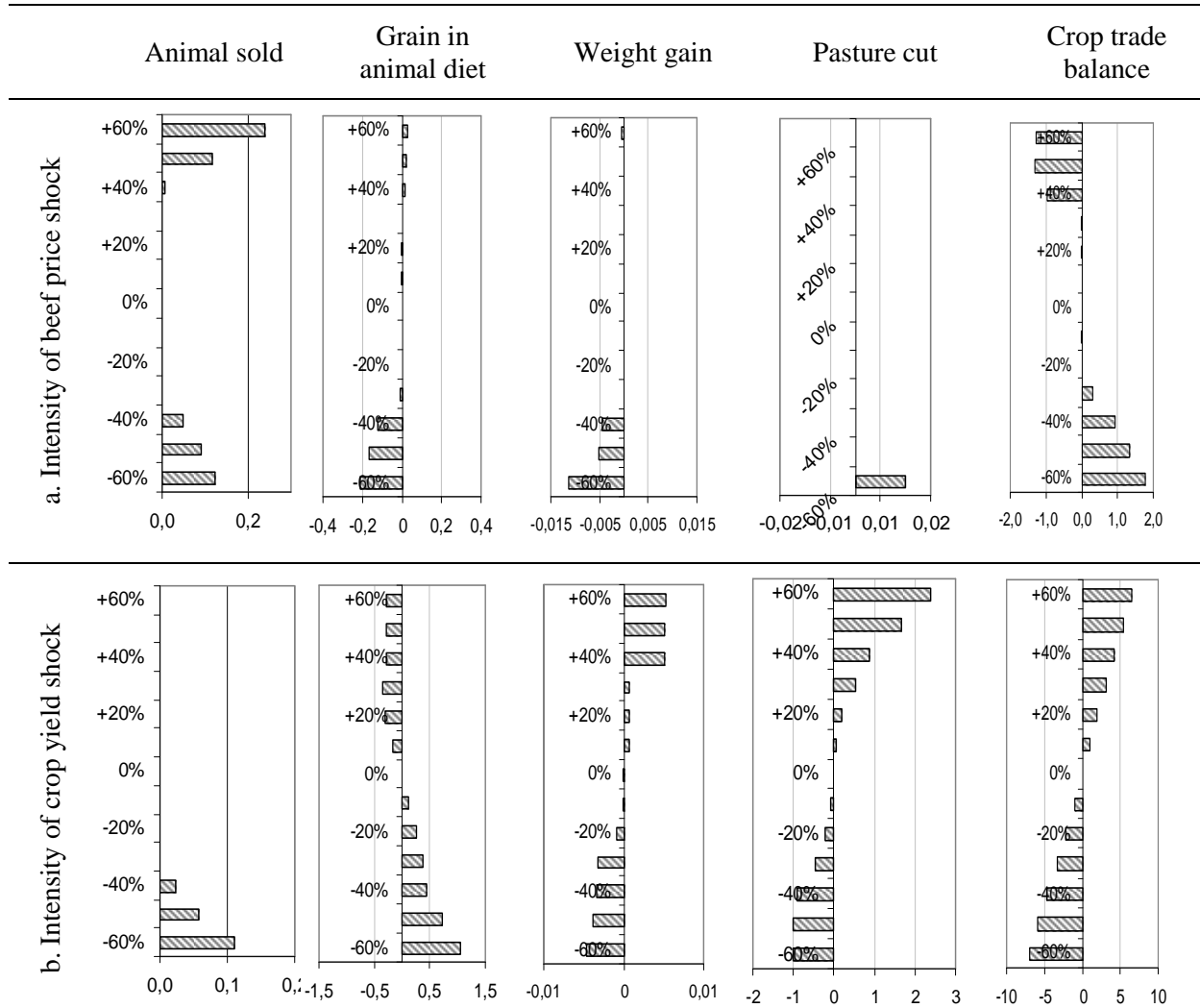


Figure 2: Rate of variation of production management indicators between year of shock occurrence (n3) and equilibrium level according to shock intensity (a: beef price shock, b: crop yield shock,)

#### 4.2.2. Evolution of beef production

Consequences of these adjustments on animal production are actually very slight for shocks of moderate intensities (figure 3) since adjustments of sales and weight gains are minor. Important negative shocks have more profound impacts and several years are necessary to rebuild the herd. In all cases, these adjustments generate a negative or nil cumulated differential of animal production over the time span simulated. However, as discussed in the joint paper, our model cannot increase animal sales more than its equilibrium level because of structural and biological boundaries.

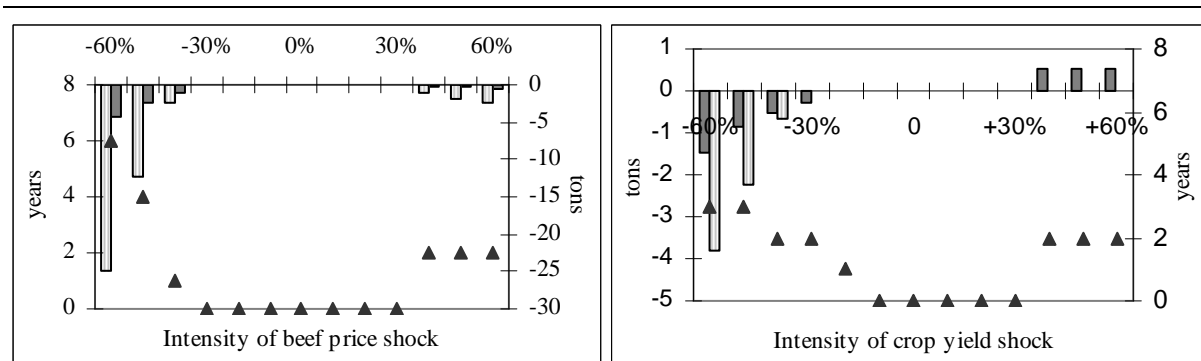


Figure 3: Impacts of beef price and crop production shocks on beef production dynamics. Grey bars are differential of beef production for year  $n3$ , striped bars correspond to cumulated differential of beef production and triangles represent the number of years necessary to come back to equilibrium.

#### 4.2.3. Evolution of net profit

Impact of shocks on net profit, when taking tactical decisions into account, increases with shock intensity. The essential of the loss is felt in the year of the shock but the effects can continue to be felt for several years (figures 4 and 5). It has to be noticed that net profit cannot be negative. Impacts of shocks have then to be buffered over a longer period. When cumulated over a long period, gains and losses compared to the average situation are not symmetrical: profit surplus for good years cannot entirely compensate for profit losses (figure 6), above all for crop yield shocks. Beef price shocks have around twice as much impact on the cumulated net profit as crop yield shocks. It can be understood since animal sales represent around 70% of farm receipts whereas farm grown products to feed animals can be substituted with bought ones and crop produce sales account for less than 5% of farm receipts. A farm with a higher percentage of cereal crops or with limited access to crop product markets could however be more affected by crop yield shocks. Until now, in the European Union, crop yields have been more variable than beef prices.

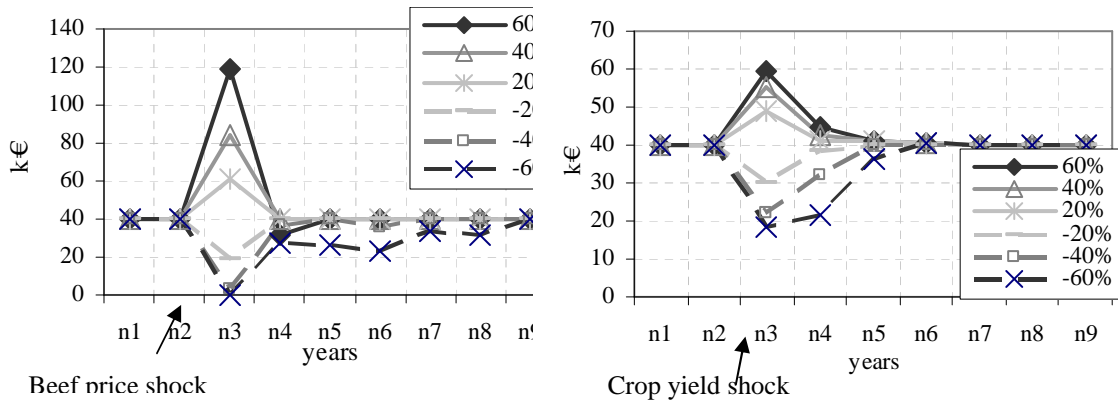


Figure 4: Evolution of net profit per year according to the intensity of price or crop production shocks that occurred in year n3 (only half the shocks are represented in order to keep figures readable)

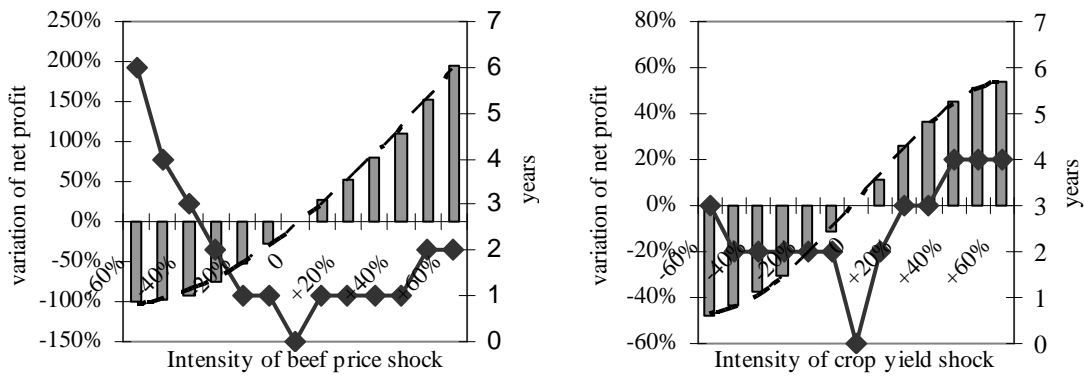


Figure 5: Characteristics of net profit perturbation following a price or crop production shock. Bars/Sticks are the differential of net profit in n3 compared to equilibrium level, dashed line corresponds to regressed third order polynomial and points are the necessary number of years for net profit to come back to equilibrium.

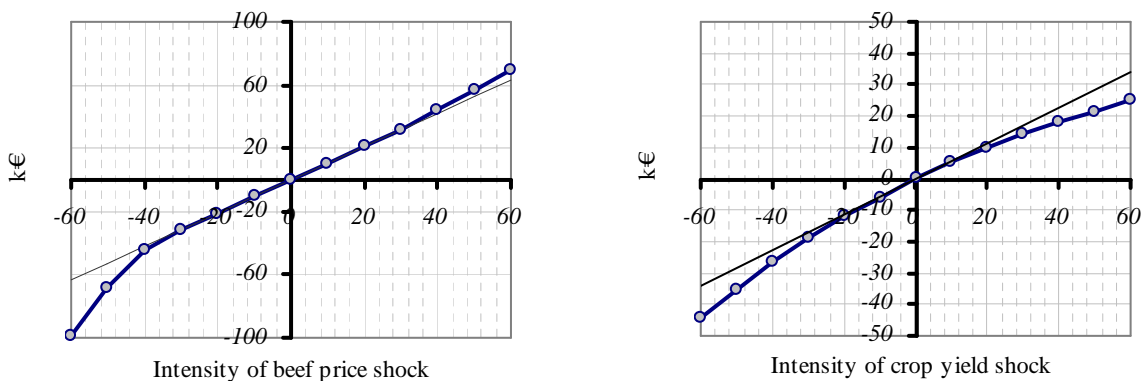


Figure 6: Cumulated differential of net profit following a shock, where interlinked circles are simulated points and dashed lines draw the tangent lines through the origin

## **5. Discussion**

The objective of the model is to assess relationships between shocks, optimal adjustments and farm outcomes. We discussed in the first paper our modelling choices regarding flexibility and optimality. The focus here is on the relevance of model results. It depends on 1/ their accuracy and consistency regarding reality, 2/ their contribution to clarifying relationships between shocks and farm adjustments and 3/ the insights given to uncover the farm's capacity to cope with shocks.

### **5.1. Evaluation of accuracy and consistency of model outputs**

Evaluation of predictions against observed data is necessary to establish whether or not the model represents reality well enough with regard to the objective pursued. Our model predicts optimal decisions. However, as mentioned by Pannell (1996), deciding on the best mix of farm enterprises and management practices would certainly be beyond the capability of any single human mind as it first necessitates grasping a huge amount of information and second combining it and appropriately evaluating its significance for decision making. He added though that *"farmers are usually near enough to the theoretical ideal for their particular circumstances to obtain most of the potential benefits"*. Consequently, although the optimal management simulated on an economic basis is unlikely to match reality exactly, predictions can be expected to be close enough. Evaluation of economic models is usually based on the principle that model predictions must reflect the base year situation (Hazell and Norton, 1986). There are very few studies that have carried out an evaluation of bio-economic farm model outcomes against real data (Janssen and van Ittersum, 2007) and even fewer against a panel dataset. The proposed validation of numerous technical and economical outcomes against a panel dataset of 25 farms over a six year period appears therefore original.

Although our model outputs look globally consistent and accurate, some discrepancies must be recognised:

-1/ the simulated animal live weights at sale remain at the maximum level allowed over time whereas observed ones vary between years and gradually increase. Precise adjustments of animal diets can be costly for farmers in terms of time or feed analysis. These can partly explain why observed live weights are more variable and quantities of grain observed in animal diets are globally high in commercial farms (Veysset et al., 2005). In addition, availability of feed resources on the market is unlimited in our model whereas in reality it could be problematic some years to buy feed and above all hay. Regarding the observed rising trend, it can be due to genetic improvement that is not taken into account in our model and considered beyond the scope of this study.

-2/ the crop production model reveals some weaknesses. The area of pasture cut is indeed underestimated and its evolution differs greatly from observations (table 1). The pasture growth sub model was validated by Jouven and Baumont (2006) on pasture at higher altitude. A proper evaluation

of this model for the studied area would be necessary to determine if some bias comes from the sub model calibration or from weather data. In addition, pasture management in our model is probably better than what can be achieved in reality since pasture production is known for the whole month and can be allocated to the different end-use (grazing, stock, or haymaking) without wastage. Moreover, risk is not anticipated and consequently no security stock to buffer crop production variations is simulated. Relations between pasture production and feed availability are therefore more closely associated than in reality.

-3/ Abrupt change in production activities is simulated (cease of finished heifers shown in figure 1) but not observed. This problem is due to the optimisation method that chooses most profitable activities. In reality, if two kinds of production have close gross margins, and if the relative advantage of one of them varies over time, farmers would not profoundly reorganise their production and their commercialisation systems on a short term basis because change can be costly in terms of time, skills or risks.

## **5.2. Adjustment of farm production management following shocks**

To assess which farm decisions might be the most suitable to face price or weather condition shocks, a high number of parameters and a complex system of interactions have to be taken into account. A better understanding of these interactions is at stake. Some farm models have simulated impacts of price and weather condition variations on farm dynamics (Sullivan et al., 1981; Cacho et al., 1999; Beukes et al., 2002; Perillat et al., 2004; Kaine and Tozer, 2005). When tactical decisions are taken into account, applications focus most of the time on one or two kinds of tactical decisions such as pasture management (Romera et al., 2005; Jouven and Baumont, 2008), multi purpose crop production (Coleno et al., 2002 ; Jacquet and Pluvinage, 1997), adaptable crop acreage (Kingwell et al., 1993), cattle sales (Olson et al., 1988; Ethridge et al., 1990), animal sales and supplementary feeding (Lambert, 1989; Kobayashi et al., 2007) or test different kinds of adjustments successively (Gillard and Monypenny, 1990; Diaz-Solis et al., 2005). These applications endeavour chiefly either to assess benefits of a tactical adjustment relative to an inflexible strategy or to understand why farmers do not intensify their production system more. The main interest of our model application is to understand how the optimal mix of adjustments –animal sales, crop product trade, animal feeding, and haymaking- can be combined together to face shocks. The application brings to light the progressive mobilisation of the different kinds of adjustments according to shock intensity with a preference for maintaining animal production at the expense of crop product balance. However, economic and political contexts as well as farm characteristics are likely to modify this optimal mix: an increase in cereal price such as in 2007 would for instance limit adjustment of grain in animal diet, or more decoupled CAP payments would favour adjustments of animal sales. Further investigations would be

needed as well to assess how shock frequency and simultaneous shocks can modify optimal mix of production adjustments.

### **5.3. Capacity of farms to cope with shocks**

It is of interest to assess if farmers would be able to maintain their activity over time in spite of disturbances. One condition is to avoid bankruptcy. By estimating impacts of crop yield and beef price shocks on farmers' earnings, this application can contribute to a vulnerability assessment or at least what Luers et al., (2003) call minimum potential vulnerability, i.e. an assessment of farm sensitivity to shocks when adaptive capacity is taken into account (vulnerability is a composite of exposure to shocks and ability to manage these shocks). The simulated beef production system is found to be very resilient as it can handle very important price and crop production shocks and bounce back to equilibrium. However, we should take into account the minimum consumption needs of the household, possibilities of loans to smooth out consumption over time, and fixed costs such as interest rates on loans or taxes and cash saving, to have a more realistic view of the capacity of farmers to cope with shocks (Alary, 2000). This study also underlines that positive shocks do not totally compensate negative ones. This can result in a progressive weakening of the farm's capacity to cope with risks.

## **6. Conclusion**

The model was designed to characterise the evolution of farm outputs when challenged by market and crop production shocks. Comparison of model outputs with a panel dataset of 25 farms over the period 2000-2006 demonstrates that it realistically predicts evolution of net profit, CAP subsidies, animal sales and adjustments of concentrate feed in the diet. Adjustments of pasture cut, crop product receipt, animal live weight and percentage of finished females point out some divergences due in part to better control of biological process in the model, to the absence of feed security stocks and to an unrealistically easy switch between several animal productions. The application provided here helps to understand how the different sources of adjustments –animal sales, crop product sales and purchases, animal diet, and haymaking- can be combined to face temporary crop yield and beef price shocks, and above all how the optimal mix is modified according to shock intensity. It can contribute as well to assessing the farm's capacity to handle shocks. However, *'ability to manage shocks or hazards is a complex function of existing behaviour that themselves represent long term or structural adaptation to predictable shocks, crisis behaviour and by external responses (policy) to a predicted and actual crisis'* (Sabates-Wheeler and Haddad, 2005). The next step will be to introduce risk anticipation in the decision sub model in order to study jointly shock anticipation decisions and shock adjustment decisions.

## References

- A. Alary, V. 2000. Les cacaoculteurs camerounais face aux risques: essai de modélisation. L'harmattan, Paris
- B. Antle, J. M. 1983. Sequential Decision Making in Production Models," *Am. J. of Agr. Econ.*, 65, 282-290
- Beukes, P.C., Cowling, R.M., Higgins, S.I. 2002. An ecological economic simulation model of a non-selective grazing system in the Nama Karoo, *Ecol. Econ.* 42. 221-242
- Cacho, O.J., Bywater, A.C., Dillon, J.L. 1999. Assessment of production risk in grazing models. *Agr. Syst.* 60:87-98.
- Coleno, F.C., Duru, M., Soler, L.G., 2002. A simulation model of a dairy forage system to evaluate feeding management strategies with spring rotational grazing, *Grass and For. Sc.* 57,312-321
- Diaz-Solis, H., Kothmann, M.M., Grant, W.E., De Luna-Villarreal, R. 2005. Application of a simple ecological sustainability simulator (SESS) as a management tool in the semi-arid rangelands of northeastern Mexico. *Agr. Syst.* 88(2-3), 514-527
- Ethridge, D.E., Zhang, P., Dahl, B.E., Ervin, R.T., Rushemeza, J. 1990. Cattle ranching production and marketing strategies under combined price and weather Risks. *West. J. of Agr. Econ.* 15(2) 175-185
- Garcia, F., Agabriel, J., 2008. CompoCow: a predictive model to estimate variations in body composition and the energy requirements of cull cows during fattening, *J. of Agr. Sc.*, in press
- Gillard, P., Monypenny R. 1990. Decision support model to evaluate the effects of drought and stocking rate on beef cattle properties in Northern Australia. *Agr. Syst.* 34, 37-52
- Hardaker, J. B. M. Huirne, R. B. Anderson J. R., Lien, G. 2004. *Coping with Risk in Agriculture*, 2nd Edition. CABI Publishing, Wallingford, UK
- Hazell, P.B.R., Norton, R.D. 1986. *Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture*, New York: Macmillan Publishing Co.
- INRA, 2007. *Alimentation des bovins, ovins et caprins*, (eds) QUAE
- Jacquet, F., Pluvinage, J., 1997. Climatic Uncertainty and Farm Policy: A Discrete Stochastic Programming Model for Cereal-Livestock Farms in Algeria, *Agr. Syst.* 53, 387-407
- Janssen, S., van Ittersum, M.K., 2007. Assessing farm innovations and responses to policies: a review of bio-economic farm models, *Agr. Syst* 94 :622-636
- Jouven, M., Baumont, R., 2008. Simulating grassland utilisation in beef suckler systems to investigate the trade offs between production and floristic diversity, *Agr. Syst.* 96, 260-272
- Jouven, M., Carrère, P., Baumont, R., 2006. Model predicting dynamics of biomass, structure and digestibility of herbage in managed permanent pastures. 2 Model evaluation, *Grass and For. Sc.*, 61: 125-133
- Kaine, G.W., Tozer, P.R. 2005. Stability, resilience and sustainability in pasture-based grazing systems. *Agr. Syst.* 83, 27-48.
- Kingwell, R.S, Pannell, D.J., Robinson, S.D., 1993. Tactical responses to seasonal conditions in whole farm planning in western Australia. *Agr. Econ.*, 8, 211-22
- Kobayashi, M., Howitt, R.E, Jarvis, L.S, Laca, E.A., 2007. Stochastic rangeland use under capital constraints,

- Amer. J. Agr. Econ. 89 (3), 205-817
- Lambert, D.K. 1989. Calf retention and production decisions over time. West. J. of Agr. Econ. 14(1) 9-19
- Luers, A.L., D.B. Lobell, L.S., Sklar, C.L. Addams and P.A. Matson. 2003. A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. Global Environmental Change 13: 255-267
- Olson, K.D., Mikesell, C.L., 1988. The range stocking decision and stochastic forage production, staff paper p988-16 of university of minnesota
- Pannell, D.J. 1996. Lessons from a decade of whole-farm modelling in Western Australia. Rev. of Agr. Econ. 18: 373-383
- Pannell, D.J., Malcolm, B., Kingwell, R.S., 2000. Are we risking too much? Perspectives on risk in farm modelling, Agr. Econ., 23, 69-78
- Perillat, B.J., W. J. Brown and R.D.H. Cohen. 2004. A risk efficiency analysis of backgrounding and finishing steers on pasture in Saskatchewan, Canada. Agr. Syst.. 80,213-233
- Ridier, A., Jacquet, F., 2002. Decoupling Direct Payments and the Dynamics of Decisions under Price Risk in Cattle Farms. J. Agr. Econ.53(3) 549-565
- Romera, A. J., Morris, S. T., Hodgson, J. , Stirling, W. D., Woodward, S. J. R. 2005. Comparison of haymaking strategies for cow-calf systems in the Salado Region of Argentina using a simulation model. 2. Incorporation of flexibility into decision rules. Grass and For. Sc.60 (4) , 409-416
- Sabates-Wheeler, R., Haddad, L. 2005. Reconciling different concepts of risk and vulnerability: A review of donor documents. IDS – Sussex. Available online at <http://www.oecd.org/dataoecd/33/60/36570676.pdf>
- Sullivan, G.M., Cartwrigth, T.C., Farris, D.E. 1981 Simulation of production systems in East Africa by use of interfaced forage and cattle models. Agr. Syst.. 7, 241-265
- Veysset, P., Agabriel, J., Ingrand, S., Bébin, D., Constant, I., Lherm, M., Dauphin, L. 2007. La conduite de l'alimentation en élevage bovin allaitant : analyse des écarts entre pratiques et recommandations. Proceedings of the 14th Rencontre Recherche Ruminants, Paris, 229-232
- Veysset, P., Lherm, M., Bebin, D. 2005. Evolutions, dispersions et déterminants du revenu en élevage bovin allaitant charolais : étude sur 15 ans (1989-2003) à partir d'un échantillon constant de 69 exploitations, INRA Prod. Anim. 18(4), 265-275

## APPENDIX

Appendix 1: Evolution of main crop yields, prices and CAP between 2000 and 2006

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
crop yield	Grain	5.4	4.4	4.0	2.7	6.9	5.7	4.9
	Maize silage	10.5	9.6	9.9	6.0	10.3	8.8	10.1
	Temporary pasture	8.5	6.2	7.9	7.6	7.1	7.2*	6.0
in ton of DM per year	Permanent pasture	5.5	4.1	5.4	4.4	4.8	4.3*	4.0
Average animal price in €/kg of live animal		1.9	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1
Cereal price in €/ton		110	115	106	121	97.0	94.0	100
Suckler cow payment in €/cow		188	220	238	238	238	238	238
Special male payment for young bull in €/ y.b.		160	185	210	210	210	210	0
Slaughter payment €/ head		27	53	80	80	80	80	32
CAP	1st level extensification payment	33	33	40	40	40	40	0
1st level stocking rate for extensification payment		2,0	2,0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Modulation in % of total payments		0%	0%	0%	0%	0%	3%	4%
Cereal crop payment in € per ha		301	301	301	301	301	301	75
Single farm payment in €/farm		0	0	0	0	0	0	26700

\*an abnormal value simulated by the pasture sub model has been corrected for the month of May, year 2005



---

## ***Partie 3.2:***

# **Simulation de l'impact d'une séquence d'aléas climatiques sur la production et les résultats économiques d'une exploitation de bovins allaitants : un modèle dynamique récursif stochastique discret (*article 4*)**

---

### ***Table des matières de la partie 3.2***

---

#### 3.2. Description du modèle et de son comportement (*Article 4*)

1.	<i>Introduction</i> _____	128
2.	<i>Model description</i> _____	130
3.	<i>Application</i> _____	137
4.	<i>Discussion</i> _____	145
5.	<i>Summary and conclusion</i> _____	147
	<i>References</i> _____	149

*Résumé de l'article 4 (partie 3.2) : « Simulation de l'impact d'une séquence d'aléas climatiques sur la production et les résultats économiques d'une exploitation de bovins allaitants : un modèle dynamique récursif stochastique discret » (version préliminaire)*

Cette section a pour but d'estimer 1/ dans quelle mesure l'anticipation des risques incite les éleveurs à adopter des comportements de précaution 2/ si les aléas antérieurs modifient l'impact des aléas présents. Ce modèle a également un objectif méthodologique dans la mesure où il doit permettre d'améliorer les modèles existants en introduisant de nombreuses décisions de production, endogènes, l'anticipation et les ajustements aux risques. Il permet également d'analyser la trajectoire de l'exploitation sur les court et long termes.

Cette version du modèle s'appuie sur le modèle présenté dans la section précédente mais dans cette version du modèle, des risques de climat et de prix sont anticipés par l'éleveur. Deux risques climatiques 'encastrés' correspondent à l'année  $t1$  et  $t2$  de l'horizon de planification (l'éleveur anticipe qu'il pourra ajuster ses décisions après la réalisation de l'aléa climatique). Quatre risques de prix sont associés aux années  $t2$ ,  $t3$ ,  $t4$  et  $t5$ . Pour chacun de ces risques, deux états de nature sont introduits, l'un correspondant à un aléa favorable et l'autre à un aléa défavorable. Chaque plan de production est ainsi associé à  $2^2 * 2^4$  états de profits possibles. Les décisions prises sont optimisées de façon à maximiser l'espérance d'utilité des profits. L'utilité des profits prend en compte à la fois les préférences par rapport au temps et par rapport aux risques. La fonction utilisée pour représenter les préférences par rapport au risque est conformément aux résultats de l'analyse économétrique, une fonction de type CRRA-DARA.

Une succession d'aléas climatiques est réalisée. Les quinze premières années correspondent à des aléas moyens, ceci dans le but d'analyser le système à l'équilibre. Pour les 35 années suivantes, des aléas climatiques d'intensité variable sont simulés. Ces aléas peuvent prendre six états caractérisés par des niveaux de rendements des productions végétales, qui ont été définis d'après la distribution observée des rendements sur la période 1990-2006, et par des variations supposées des prix des aliments. Trois scénarios sont comparés : le premier suppose que l'éleveur n'anticipe pas les risques climatiques, le second considère que l'éleveur anticipe les risques mais qu'il n'est pas averse au risque, et, le troisième estime qu'il est averse au risque.

A l'équilibre, nous voyons que l'anticipation des risques et l'aversion au risque n'incite pas l'éleveur à modifier ses décisions stratégiques, mais quelques ajustements sont réalisés au niveau de l'alimentation et de la vente des animaux afin d'« économiser » du foin en prévision des aléas futurs. La succession d'aléas climatiques met en évidence que 1/ les aléas climatiques passés influent sur l'impact des aléas présents et 2/ deux années climatiques catastrophiques à la suite se traduisent par une baisse de revenu très importante l'année du 2<sup>ème</sup> choc climatique

## **Impacts of successive weather shocks on technical and economical results of French suckler cow farms:**

### **A recursive discrete stochastic programming approach**

C. Mosnier<sup>a</sup>, J. Agabriel<sup>a</sup>, M. Lherm<sup>b</sup>, A. Reynaud<sup>c</sup>

<sup>a</sup> INRA, UR1213 Herbivore, F-63122 Clermont-Ferrand

<sup>b</sup> INRA, UR506, Laboratoire d'économie de l'élevage, F-63122 Clermont-Ferrand

<sup>c</sup> TSE (LERNA-INRA), Université de Toulouse 1, 31042 Toulouse Cedex.

Corresponding author: [cmosnier@clermont.inra.fr](mailto:cmosnier@clermont.inra.fr)

### ***Preliminary Version***

#### **Abstract**

*This paper addresses the issue of stochastic weather conditions impacts on French suckler cow farmers decisions and on farm outcomes. It contributes to the literature on livestock bio-economic model by developing a framework witch enable to introduce numerous dynamic variables (almost 30) and decision variables, anticipation of embedded weather risks and price risks, and, to simulate stochastic weather conditions over a very long time span. This framework, mixing DSP advantages with those of recursive programming, gives a better representation of the functioning of complex systems. Both time and risk preferences are accounted for. Model application highlights firstly the importance of production adjustments compared to strategic adaptations to face weather conditions variability. Then, simulation of successive weather shocks induce a reduction of average mean compared to the simulation of an 'average' year. Eventually, we observe that weather conditions of previous years affect current profit by modifying initial stock levels: at least weather conditions of current and previous years should be taken into account to assess impacts of weather shocks on current profit..*

#### **Keywords:**

Discrete stochastic programming, recursive model; Tactical adjustments; Livestock farm model;

## **1. Introduction**

Farming is inherently a risky business. Seasonal weather conditions and market prices account for important sources of variability, a variability enhanced by climate change and by liberalization of the world agricultural markets. This changing environment challenges French suckler cow farmers<sup>9</sup> who continuously have to adapt their production management. These farms indeed rely on forage production which is very sensitive to weather conditions (Gateau et al., 2006). According to Boyer (2008), first recipients of the French fund for agricultural calamities (FNGCA) are herbivorous farms, mainly because of drought on forage crops. Moreover, they sell mostly only beef, which makes their beef receipt fluctuate with beef market conditions.

When studying risk management, farmers individual risk-management strategies have to be well understood since they can supplement or replace public compensation policies. Risk management aims at profitably securing and improving farms potential of profit over time. It encompasses two stages: the first one, prior to the realisation of a random event, deals with making decisions under uncertainty in order to mitigate future risks of loss; the second one, subsequent to the realisation of this uncertain event, consists of adjusting decisions in order to take advantage or to limit damages caused by this random event. These two stages are interlinked since first stage decisions can reduce for instance farm exposure or increase adjustments capacity. In the case of French suckler cow farms, numerous production options exist to manage risks linked to weather conditions. Strategic decisions to mitigate risks encompass land allocation, average herd size and herd composition (Lemaire et al., 2006a). The definition of an appropriate level of animal stocking rate, of the source of feed supply (Lemaire et al., 2006b) and of calving date (Pottier et al., 2007) are crucial too. Adjustments are very diverse and concern for instance animal diets (Blanc et al., 2006; INRA 2007), animal sales, end use of crop production (Le Gall et al., 1998) or feed purchases and sales (Veysset et al., 2007).

Given the length of the production cycle (a cow calves for the first time at three years old), and the complexity of production interactions, it is difficult for farmers to gauge what decisions should be optimal for them. A previous work undertaken by Mosnier et al., (XXc) focused on production adjustments to shocks related to beef prices and crop yields in those farms. However, this study did not include farmer's expectation regarding beef prices and crop yield variability. Risk mitigation strategies were not simulated. Hardaker et al., (2004) underlined though that anticipation of risks matters in case of downside risks or risk aversion. Evidence of risk aversion of these Suckler cow farmers has been highlighted in a prior study (Mosnier et al., XXa). Two kinds of risks can be anticipated: embedded risk which occurs when farmers plan to adjust their decisions following the

---

<sup>9</sup> Suckler cows system consist of raising cows with their mother milk.

realization of an uncertain event, and, non embedded one. Production adjustment to seasonal weather conditions appears to be important for those systems (Mosnier et al., XXc). It would be then of interest to assess if anticipation of adjustment possibilities modifies farmers' decisions. In addition, anticipation and simulation of successive weather shocks can modify production decisions and weather impacts. To the best of our knowledge, impacts of such successive shocks have only been estimated for sheep production in extensive, semi arid rangelands of Kazakhstan by Kobayashi et al., (2007). However, they did not account for risk aversion and consider fewer possibilities of weather risk management than what is actually possible in France, such as, for instance, the possibility to report feed stocks from one year to another or to differentiate diet composition and diet energy content of the different kinds of animals.

Objectives of this study are to test if 1) anticipation of embedded weather risks helps buffering weather conditions impacts; 2) risk aversion induces any additional change, and if 3) previous weather shocks modifies impacts of current weather shocks on farm outcomes.

Both econometric and mathematical programming methods can be used to model risk anticipation and adjustment capacity. Although econometric models have the advantage of being based on statistic inference, biotechnical relationships cannot be as diverse and detailed as in mathematical programming methods (Flichman and Jacquet, 2003). In the vast literature devoted to whole farm modeling under uncertainty, two well known modelling approaches can take into account embedded risks: Discrete Stochastic Programming (DSP) and Stochastic Dynamic Programming (SDP). Previous bio-economic livestock farm models using DSP approach are though limited by the number of decisions stages introduced and by their short time span (one year in the case of Lambert, 1989; Kingwell et al., 1993; Jacquet and Pluvinaige, 1997; Lien and Hardaker, 2001). Model size indeed increases with the number of decision stages considered. Livestock farm models using a SDP approach have to reduce the number of activities considered (Moxnes et al., 2003; Kobayashi et al., 2007) since model size explodes with the number of dynamic variable.

We want here to take into account possibilities offered by 1/ the large range of animal products which can be sold regarding to their sex, their age and their live weight, 2/ the possibility for animals to have compensatory growth, 3/ land allocation to the different crop production, 4/ period and percentage of pasture harvested to make hay and 5/ crop produce trade. This study also aims at assessing impacts of these production decisions on both short and long terms. To overcome limitations of the previous approaches, we propose to use a sequence of recursive DSP model in a way somewhat similar to the proposal of Blanco and Flichman (2001) and to use this recursive framework to simulate successive stochastic weather shocks over a long period. This paper intends thus to contribute to the literature on risk modelling.

The remainder of the paper is organized as follows. In section 2, we present the recursive framework of the model as well as weather and beef price risks. We describe the production model and discuss the specification of farmer's expectation and farmer's optimization program. We apply this model to a typical suckler cow farms producing mainly finished animals in the centre of France. A simulation of stochastic weather conditions over 50 years is conducted in the third section of this paper. We compare different weather risk anticipation scenarios and analyse impacts of current and past weather events on current profit.

## **2. Model description**

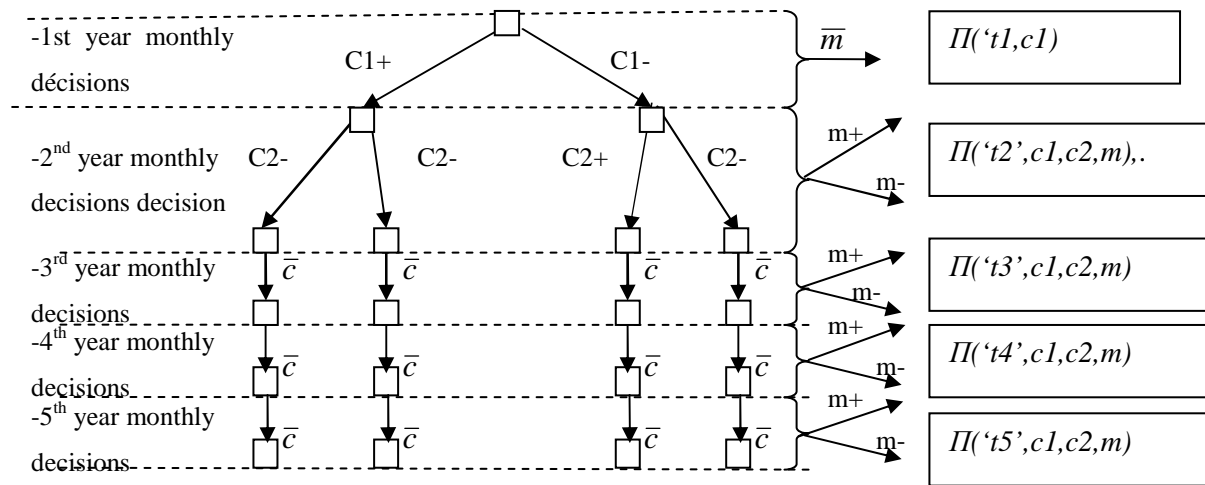
The model is formulated to represent average French suckler cow farms. Such farms consist of beef cattle production based on a suckler cow herd and of grain and forage crop production. Each year starts in April at the beginning of the grazing season and is divided into monthly intervals. This production system must be managed by a farmer over a simulated period of  $N$  years, under stochastic weather conditions.

### **2.1. The modelling approach: a recursive sequence of discrete stochastic programming resolutions**

We state that it is hardly conceivable that farmers anticipate all possible states of nature of random variables over a very long planning horizon since it would require much information and a huge computational time. Farmers are therefore supposed to make a decision plan over a five years finite horizon which encompasses a whole cow-calf production cycle. We assume that they only anticipate two states of nature for beef prices and for weather conditions: a favourable one and an unfavourable one. A previous work undertaken by Mosnier et al., (2008a) emphasized that for variations lying within a one standard deviation interval, consequences of beef prices shocks were basically economic whereas crop yield shocks involve adjustments of diet composition, crop product trade and haymaking (weather conditions affect directly crop production). Hence, we propose to consider beef price shocks as non-embedded risks which affect directly annual beef receipt. Weather shocks are introduced as successive embedded risks for the first two years (Figure 1).

Introduction of embedded risks involves that monthly decisions  $D$  are differentiated after the realisation of the weather event. Let's  $c1$  be the random weather conditions for year  $t1$ , which is characterized by two states of nature  $\{c1+, c1-\}$ . In the same way, let's  $c2$  be the random weather conditions for year  $t2$  with two states of nature  $\{c2+, c2-\}$ . Each decision is defined by  $D\{t, month, c1, c2\}$ . In case of non embedded beef price risks  $m\{m+, m-\}$ , decisions are independent from the value of the stochastic variable but final outcomes are not. Consequently, annual profit  $\Pi$  is indexed by:  $\Pi(t, c1, c2, m)$ .

Figure 1: The DSP model: A five year planning horizon with two embedded weather risks and non embedded beef price risks



□ State of the system at the beginning of each year

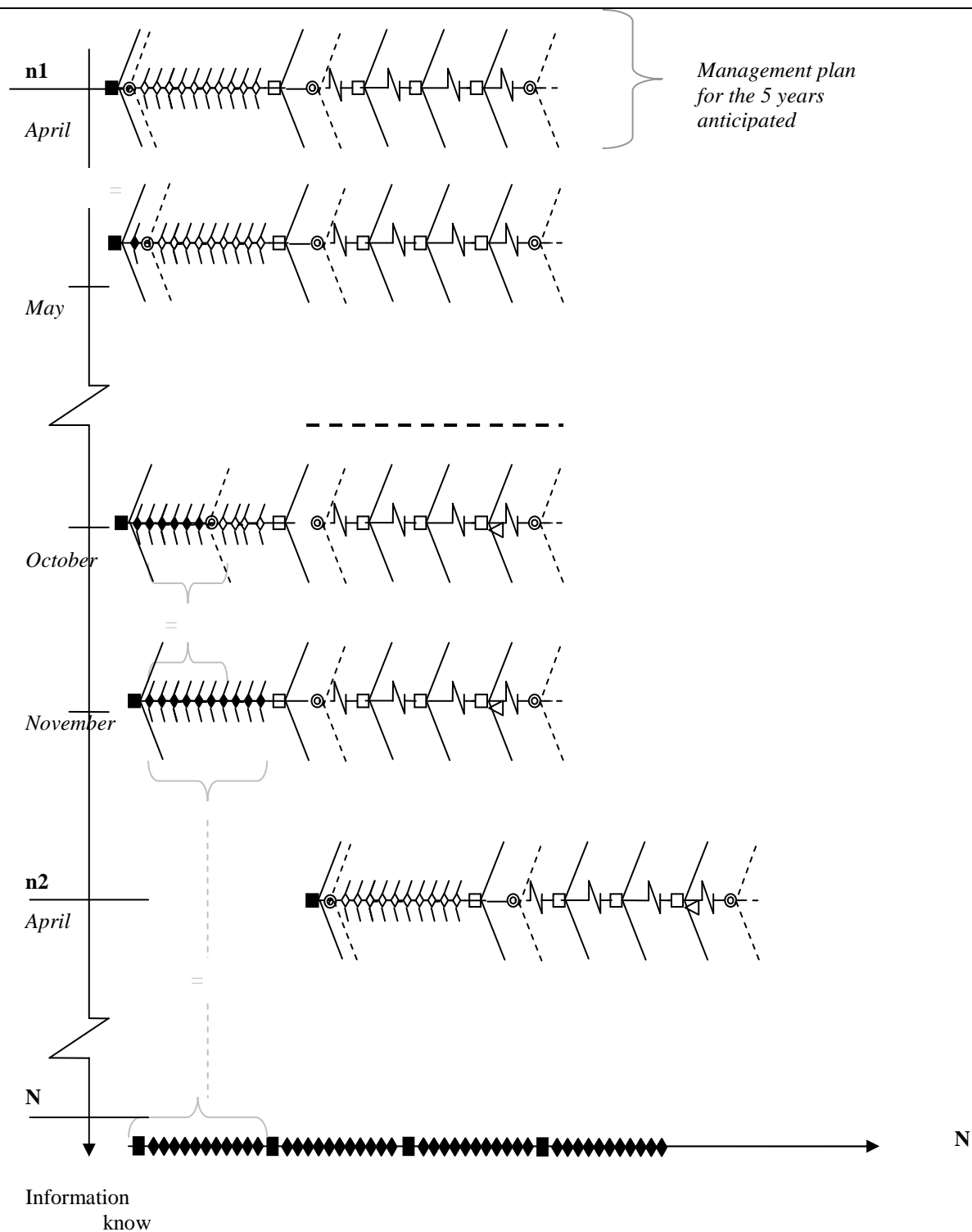
$\bar{c}$ ,  $c1+$ ,  $c1-$ ,  $c2+$ ,  $c2-$  : resp. average weather conditions; fav. and unfav. conditions for year  $t1$ ; fav. and unfav. conditions for year  $t2$

$\bar{m}$ ,  $m+$ ,  $m-$  : resp. average, fav. and unfav. beef prices

$\Pi$  : net profit per year according to the state of nature of the random variables

Under our recursive framework, only decisions taken for the first stages are binding since the decision plan can be partly revised during the following iteration, when more information will become available. What is important in each decision plan is therefore to get the current stage decisions right i.e. closed to reality (Nerlove and Bessler, 2001). The recursive process is a succession of optimisations of the DSP model presented above. Before each resolution, dynamic variables are reinitialised thanks to outputs of previous optimisation; real weather conditions are introduced too. Recursions are made at a monthly step during the grazing season (from April to November) in order to set up real pasture production not more than one month in advance. Pasture production can indeed be used each month either for grazing or haymaking and current weather conditions do not have necessarily direct consequences on the following months pasture production. The framework used is displayed in Figure 2.

Figure 2: The recursive process



- State of the system at the beginning of each year
- ◇ State of the system at the beginning of each month
- ⊙ Uncertain event
- ◇/ state expected/state realised
- ↖ simplification to represent monthly decisions
- Range of possible decision
- Range of states of nature of random variables

## **2.2. The DSP Model unit**

The DSP model is a constrained optimisation problem for a five year planning horizon. At the start of the planning horizon, farmers must formulate an optimal plan to manage monthly their beef and crop production conditional to the information available and to their objective function. In the following section, the production system, farmers expectations and farmers decision problem are presented. The model is calibrated with economic, structural and biotechnical values corresponding to farms located in the north of Massif Central and producing mainly finished animals.

- *The production system and the calculation of net profit*

The production system is described here distinguishing farmer herd management and farmer crop production management. Calculation of costs and profit are briefly explained too. Equations and their parameterization are presented into more detailed in Mosnier et al., (XXb).

The cattle herd is characterized by twelve annual animal classes, indexed by  $a$ , which differ in age, sex and fattening or storage objective. Classes are described by two dynamic variables: the number of animals and their average live weight. The number of animals in each class is initialised for the first period of the planning horizon. Then, intra year dynamics are defined by the balance between past number of animals, sale decisions, and mortality. At the beginning of each year (in April), animals change from a class to another because of: 1/ natural ageing process modelled by a transition matrix, 2/ fattening decisions since the model can choose for instance to convert part of the number of two year old heifers into fat heifers and the remaining part into primiparous cows and 3/ decision regarding the percentage of mature females for reproduction. Intra-year and inter year live weight dynamics are expressed in the same way. Weight gain depends on decisions related to the quantity of feed ingested by each animal and on their energy content. Live weight is bounded between +/-5% of the theoretical live weight which gives the model some flexibility without, according to expert knowledge, threatening reproduction performance and animal health. An animal sub model calculates theoretical live weight and animal requirement of the animal at each period according to INRA (2007) and Garcia and Agabriel (2008) equations. Parameters used are those of the Charolais breed.

Concerning crop production, four feeds (grazed grass, hay, maize silage, grains) and one litter product (straw) can be produced from four different crop productions (permanent and temporary pasture, maize, two kinds of cereals). These products are described by parameters of qualities (fill value and energy content) and by dynamic variables related to the quantity stored on farm. Two different kinds of dynamics are defined for crop products stored. Firstly, stocks of conserved produce are classically defined as the balance between inputs (production and purchase) and withdrawals (herd consumption and sale) plus the remaining stock of the previous period. It is assumed that maize silage can not be traded. Crop product quantities harvested depend on land allocation (which is constrained

by crop rotation possibilities) and haymaking decisions, and, on crop yields. Secondly, quantity of standing grass available in one period corresponds to the remaining (after abscission) balance between previous quantity of biomass stocked, produced, cut for haymaking and grazed. The coefficient of abscission takes into account losses due to average ageing process and to environmental conditions when grass use is delayed to the following month. The quantity and quality of standing biomass produced each month per hectare is calculated thanks to a sub model of herbage growth developed by Jouven and Baumont (2006) and filled with weather data from Nevers meteorological station (Météo France).

Production decisions are restricted by structural constraints regarding land, labour and building. Total area allocated to the different crops must be equal to farm usable agricultural area (150 ha) and the acreage of permanent pasture (81 ha) must remain stable. We follow Veysset et al., (2005) to represent labour and building constraints. First, we limit the number of livestock units and crop growing activities at 230 units “based on the principle that one livestock unit is equivalent to two hectares of cereal crops in labour terms”. Second, we consider that the main building constraint is linked to the number of calves since they are born indoor (95 calvings at maximum). Due to storage capacity limitation, we limit the land allocated to maize silage to 11.4 ha.

We assess farmers earnings by computing their net profit. It is calculated as the difference between yearly products (animal and crop sales and Common Agricultural Policy payments) and total costs (variable and fixed costs). The CAP premium specification is flexible enough to take into account the different kinds of direct payments belonging to the first pillar (production support) which were effective between 1998 and 2008. For this simulation we set CAP condition corresponding to 2004.

- *Farmers' expectations*

Farmers anticipate “*what might happen given that a particular sequence of acts is chosen and that a particular sequence of event occurs*” (Hardaker et al., 2004) over the planning horizon. As mentioned earlier, beef prices and weather conditions are considered as random variables. Beef price risk is modelled as a set of correlated risks corresponding to the different kinds of animals. Beef prices can be either favourable or unfavourable for the following years. These states are equal to ‘normal’ prices plus or minus half of one standard deviation (Table 1).

Weather risks are converted into crop yield risks and crop product price risks for years  $t1$  and  $t2$  (Table 2). Likewise beef price risks, all this weather related risks are correlated and two states of nature are anticipated for year  $t1$  and for year  $t2$ . For years subsequent to  $t2$ , only average years are anticipated. ‘Real’ prices and yields are known with certainty for the first months of the first year (the

number of months known depend on the ranking of the model iteration within the recursive sequence of DSP models).

Table 1: States of nature anticipated for beef prices (in percentage of variation compared to average observations)

	Lean heifers	Finished heifer	Lean cows	Finished cows	Lean males	Finished young bull	Steers
m+	3.5 %	3%	3 %	2.5%	4%	5%	3%
m-	-3.5 %	-3%	-3 %	-2.5%	-4%	-5%	-3%

Note: standard deviations were estimated thanks to a panel data of 65 farms from the Basin Charolais area over the period 1987-2007

Table 2: States of nature anticipated for weather conditions (in percentage of variation compared to average observations)

	crop yield variation				selling price*			purchase price*		
	cereals	maize	Permanent Pasture	Temporary pasture	grain	straw	hay	grain	straw	hay
c+	5%	10%	11%	9%	0%	-20%	-20%	0%	-20%	-10%
c-	-5%	-10%	-11%	-9%	0%	20%	20%	0%	20%	25%

Note : crop yield variations has been estimates thanks to regional statistics produced by Agreste over the period 1990-2007.\* Crop prices variations related to weather states of nature are own approximations.

- *The farmer's decision problem*

Under certainty, it is broadly considered that economic agent select a *sequence of acts* in order to maximise their utility of profit over a finite planning horizon  $\{t1, ..t....t5\}$ . Choice under uncertainty leads to consider different state contingent profit (Moshini and Henessy, 2001). The straightforward method of utility Efficient programming (see Hardaker et al., 2004) is chosen (see Hardaker et al., 2004 for an exposition of this model) which is of the form:

$$\text{Maximize } E[U] = pU(z, r) \tag{1}$$

Where  $E[U]$  is expected utility and  $z$  and  $s$  by 1 vector of net incomes by state and  $U(z)$  a vector of utilities of net income by state,  $r$  a risk aversion coefficient that is varied

Utility depends on farmers preference regarding the distribution of profit over time and over the states of nature. Inter temporal choices involve tradeoffs among benefits occurring at different points in time. They typically include a discount factor on future utility, called Rate of Time

Preference (RTP), to take into account farmer preference to have money now rather than later. The other fundamental characteristic of time preference is the elasticity of inter-temporal substitution (EIS) which represents the aversion towards inter-temporal variations. It quantifies a “decision maker’s desire to smooth out the stream of utility over time so one unit of discounted utility in each period is better than two units of discounted utility in a single period” (Frechette, 2005).

Choices under uncertainty involve tradeoffs among benefits occurring for the different states of nature. Risk can be associated to uncontrolled variability. The more risk averse farmers will be, the more expected return he will be willing to forgo for a reduction in risk. Risk aversion is reflected by the curvature of a person’s utility function: the Arrow-Pratt absolute risk-aversion ( $r_a$ ) function is then defined as follows:

$$r_a(\bar{W}) = -\bar{W} \times \frac{U''(\bar{W})}{U'(\bar{W})} \quad (2)$$

with  $U'$  and  $U''$  denote respectively the first and second derivatives of the utility function and  $\bar{W}$  is the expected (post-risk) wealth.

The relative risk aversion ( $r_r$ ) defines in (3), makes explicit the way farmer’s decisions are affected if all payoffs are multiplied by a positive constant.

$$r_r(\bar{W}) = -\bar{W} \times r_a(\bar{W}) \quad (3)$$

A previous study (Mosnier et al., XXa) estimates that suckler cow farmers of the Charolais area exhibit a constant relative risk aversion (CRRA) with increasing average gross margin  $\bar{W}$  per worker ( $r_r(\bar{W}) = 2.38$ ). However, in the present study, what is optimized is the utility of net profit  $\Pi$  which is calculated as gross margin minus fixed costs (fixed costs are averaged at 78 k€ per year):

$$\bar{W} = (w_0 + \bar{\Pi}) / \lambda \quad (4)$$

Where  $w_0$  is fixed costs,  $\bar{\Pi}$  average net profit and  $\lambda$  the number of worker units. With CRRA, preferences are unchanged if payoffs are multiplied or divided by a constant but are modified if a constant amount is added or subtracted from all payoffs (Hardaker and al). We use then the relationship displayed in Lien and Hardaker (2001) to compute the relative risk aversion coefficient to net profit:

$$r_r(\bar{\Pi}) = \bar{\Pi} \cdot r_a(\bar{\Pi}) = \bar{\Pi} \cdot r_a(\bar{W}) = \bar{\Pi} \cdot r_a(\lambda \cdot \bar{W}) = \frac{\bar{\Pi}}{\lambda \cdot \bar{W}} \times r_r(\bar{W}) \quad (5)$$

The obtained relative risk aversion coefficient is 0.5.

Lots of models have introduced farmers risk preferences, but few have proposed and objective function which account for both risk and time preferences in their programming model. To the best of our knowledge, no such a function has been developed for multi-periodic models. The objective

function we built is based on the General Expected Utility (GEU) model developed by Epstein and Zin (1989) and Weil (1990) for dynamic programming models. It consists of two overlapped power functions for both annual profit and value of stock variation at the end of the planning horizon. Actually, in this equation (6), it is the discounted utility of certainty equivalent of profit which is added over time. Time preference coefficients were parameterized thanks to Lence (2000) estimations.

$$Z = \sum_t^T \left\{ \beta^{t-1} \times \frac{[E(\Pi_t^{1-\gamma})]^{1-\alpha}}{1-\alpha} \right\} + \beta^T \times \frac{[E(\Delta S_T^{1-\gamma})]^{1-\alpha}}{1-\alpha} \quad (6)$$

where  $RTP = \left(\frac{1}{\beta} - 1\right)$ ,  $EIS = \left(\frac{1}{\alpha}\right)$ ,  $CRR = r$ ,

### 3. Application

#### 3.1. Definition of scenarios

Three scenarios are defined in order to test impacts of farmer's anticipation and farmer's risk aversion on production decisions and on farm outcomes:

- Scenario 1: 'no risk'. Only beef price risks are considered and no risk aversion is introduced (inter-temporal preferences are maintained though)
- Scenario 2: 'risk neutral'. Anticipation of embedded weather risks for year t1 and t2 are added to scenario 1 baseline.
- Scenario 3: 'risk aversion'. Compared to scenario 2, risk aversion is introduced

The simulation is divided into two consecutive sequences of recursive optimisations. In the first one, we simulate 15 years with 'average' weather conditions in order to reach equilibrium. Then a sequence of 35 years is simulated with stochastic weather events. More than the two states of nature anticipated are simulated: six different states of nature were defined for stochastic weather conditions that correspond to the discretisation of an observed distribution (Table 3). Hence, we simulate expected and non expected weather risks.

Table 4 : definition of the six states of nature to simulate stochastic weather conditions

		State of nature					
		e1	e2	e3	e4	e5	e6
Crop yield	cereals	82%	94%	97%	100%	108%	118%
	maize	67%	87%	92%	102%	120%	130%
	Permanent	61%	87%	99%	107%	121%	126%
	Pasture						
	Temporary pasture	61%	84%	99%	108%	121%	128%
Selling prices of crop products	straw	108%	103%	101%	100%	97%	93%
	hay	218%	140%	103%	80%	36%	22%
Purchase price of crop products	straw	108%	103%	101%	100%	100%	100%
	hay	218%	140%	103%	103%	103%	103%

Note: these 6 states of crop yields, with the same probability of occurrence have been defined upon 1990-2007 records of regional yields by Agreste; states for crop product prices come from personal approximations.

### 3.2. Simulation results: Comparison of a DSP production plan according to weather risk anticipation scenarios

In this section, we analyse production plan at equilibrium. Focus is on a single optimisation program rather than on the recursive sequence of optimisation. We compare decisions over the five year planning program horizon under the different scenarios with a particular emphasis on the first two years, where embedded weather risks are anticipated. Notice that in an analysis not presented in this paper, we have tested impacts of risk aversion when only beef prices were anticipated to be random and no change of production decision was found. If some modifications of production decisions are found between the 'risk averse' and the 'risk neutral' scenarios, they are only linked to aversion to weather risk.

- *Crop production decisions and dynamics of crop product stocks*

Anticipation of embedded weather risks does not change initial land allocation decisions: in the three scenarios, cereal and maize crops cover the maximum area allowed by crop rotation possibilities and structural constraints. However, initial stocks of hay and silage at equilibrium are increased (actually, this initial stock of hay partly results from purchase during the previous recursions and partly to hay savings in animal diets). First year adjustments of crop decisions to weather conditions involve a reduction (resp. increase) of the quantity of grain sold in case of unfavourable

(resp. favourable) weather condition and a decrease (resp. increase) of the percentage of pasture harvested in order to preserve grazing potential (Table 4). No hay is bought.

At the beginning of the second year, stock levels are much higher after a good weather year in  $t1$  than in scenario 1 ('no risk') but are nonexistent after a bad weather year. As a consequence, we observe hay purchase the second year, after a bad first year. Hay purchase can reach an important level when two years with bad weather conditions occur in a row. Since there is no more bad weather conditions to fear after  $t2$  (weather conditions are average ones for  $t3-t5$ ), hay stock level at the beginning of year  $t3$ , ensuing from good weather conditions in year  $t2$ , is significantly below the level of  $t2$  in similar situation. Scenarios 2 ('risk neutral') and 3 ('risk aversion') are almost similar. However, we observe that in the risk averse scenario, the 'crop product purchases minus sales' indicator is a little less variable whereas the area dedicated for haymaking varies more according to the different weather conditions anticipated.

Table 5 : Dynamics of crop product stock (without herd consumption decisions)

		'no risk'	'risk neutral'				'risk aversion'			
<b>Intial stock t1</b>	<b>hay</b>	<b>0</b>	<b>+21,4 tons</b>				<b>+22,9tons</b>			
	<b>grain</b>	<b>20</b>	<b>-16%</b>				<b>-16%</b>			
	<b>maize silage</b>	<b>19,6</b>	<b>48%</b>				<b>48%</b>			
<i>Purchases-sales (t1)</i>	<i>hay</i>	-5,7	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>grain</i>	72,1	31%	-37%	30%	-36%	30%	-36%	-36%	
	<i>haymaking</i>	38,6%	1%	-8%	7%	-12%	7%	-12%	-12%	
	<i>% pasture in UAA</i>	72%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
<b>Intial stock t2</b>	<b>hay</b>	<b>0</b>	<b>+42,1 t</b>	<b>0</b>	<b>+43,6 t</b>	<b>0</b>	<b>+43,6 t</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
	<b>grain</b>	<b>20</b>	<b>-16%</b>	<b>-2%</b>	<b>-16%</b>	<b>-2%</b>	<b>-16%</b>	<b>-2%</b>	<b>-2%</b>	
	<b>maize silage</b>	<b>19,6</b>	<b>48%</b>	<b>0%</b>	<b>48%</b>	<b>0%</b>	<b>48%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	
<i>Purchases-sales (t2)</i>	<i>hay</i>	-5,7	0	+3,1 t	-5,7 t	29,9 t	0	+4,2 t	-5,7 t	-29,9 t
	<i>grain</i>	72,1	75%	-25%	33%	-38%	65%	-25%	34%	-37%
	<i>haymaking</i>	38,6%	2%	-13%	0%	-2%	0%	-13%	9%	-2%
	<i>% pasture in UAA</i>	72%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<b>Intial stock t3</b>	<b>hay</b>	<b>0</b>	<b>+18,2 t</b>	<b>+0,8 t</b>	<b>+18,2 t</b>	<b>0 t</b>	<b>+22,3 t</b>	<b>+0,8 t</b>	<b>+17,3 t</b>	<b>0 t</b>
	<b>grain</b>	<b>20</b>	<b>-47%</b>	<b>-9%</b>	<b>-33%</b>	<b>0%</b>	<b>-46%</b>	<b>-9%</b>	<b>-33%</b>	<b>-1%</b>
	<b>maize silage</b>	<b>19,6</b>	<b>87%</b>	<b>30%</b>	<b>70%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>	<b>60%</b>	<b>56%</b>	<b>0%</b>
			<i>C1+</i>	<i>C1+</i> ;	<i>C1-</i>	<i>C1-</i> ;	<i>C1+</i>	<i>C1+</i> ;	<i>C1-</i>	<i>C1-</i> ;
			<i>C2+</i>	<i>C2-</i>	<i>C2+</i>	<i>C2-</i>	<i>C2+</i>	<i>C2-</i>	<i>C2+</i>	<i>C2-</i>

Note: results for the 'risk neutral' and the 'risk aversion' scenarios are expressed in percentage of variation compared to the 'no risk scenario'

• *Animal live weight and animal diet*

Anticipation of embedded weather risks changes neither the initial number of cattle heads (Table 6) nor their initial live weight (Table 5). Main adjustment realised during the first year concerns the quantity of concentrate feed per livestock unit (+/- 20%). It counterbalances variation of maize, hay and grass in animal diets. It can be noticed that during the first year, the consumption of hay is reduced compared to the 'no risk' scenario. Some hay is indeed saved in prevision of future weather conditions. On the contrary, in year *t2*, this consumption of hay is higher since farmers do not need to have precautionary stock anymore (at the end of the second year, the weather conditions are supposed to be known with certainty). In this second year, a very high variation of grain consumptions is observed with a reduction of the consumption by half in case of a succession of two years with good weather conditions. In this case, more grass, maize and above all hay are given to animals. Although changes of animal diets are important, they result in negligible change of average live weight of animals. During this year *t2*, a slightly lower variability in composition of animal diet is found for the risk averse scenario compared to the risk neutral one.

Table 6 : Live weight dynamics and animal diet in the first two years of the planning horizon

	'no risk'	'risk neutral'				'risk aversion'			
<b>Intial average liveweight t1</b>	<b>3466</b>	<b>0.00%</b>				<b>0.00%</b>			
<i>hay cons./LU</i>	775	-7%	-3%	-7%	-3%	-7%	-3%	-7%	-3%
<i>grass cons./LU</i>	2287	4%	-4%	4%	-4%	4%	-4%	4%	-4%
<i>grain cons./LU</i>	498	-18%	20%	-18%	19%	-18%	19%	-18%	19%
<i>maiz cons./e/LU</i>	642	10%	-1%	11%	-1%	11%	-1%	11%	-1%
<b>Intial average liveweight t2</b>	<b>3466</b>	<b>0.27%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.29%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.29%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.29%</b>	<b>0.01%</b>
<i>hay cons./ LU</i>	775	33%	6%	3%	3%	25%	6%	3%	3%
<i>grass cons./ LU</i>	2287	4%	-5%	4%	-4%	3%	-4%	4%	-5%
<i>Grain cons./ LU</i>	498	-49%	-12%	11%	24%	-41%	11%	-11%	24%
<i>maize cons./ LU</i>	642	3%	-3%	-6%	-10%	3%	-6%	-5%	-10%
<b>Intial average liveweight t3</b>	<b>3466</b>	<b>0.29%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.29%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.29%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.29%</b>	<b>0.01%</b>
		<i>C1+</i>	<i>C1+;</i>	<i>C1-</i>	<i>C1-;</i>	<i>C1+</i>	<i>C1+;</i>	<i>C1-</i>	<i>C1-;</i>
		<i>C2+</i>	<i>C2-</i>	<i>C2+</i>	<i>C2-</i>	<i>C2+</i>	<i>C2-</i>	<i>C2+</i>	<i>C2-</i>

Note: results for the 'risk neutral' and the 'risk aversion' scenarios are expressed in percentage of variation compared to the 'no risk scenario'

Whatever the scenario and the weather conditions considered, herd size at the start of each year is similar. In year 1, the number of livestock unit and the quantity of animal sold are reduced a little (above all for the risk averse scenario), probably to save some feeds in prevision of potential unfavourable weather conditions in the future. In the second year, a very small increase of kg of

animal sales is observed when weather conditions are good whereas a slight reduction is found in the opposite case.

Table 7 : Herd size dynamics, livestock number over year and decisions of animal sales

	'No risk'	'risk neutral'				'risk averse'			
<b>Head number T1</b>	<b>305</b>	<b>0.0%</b>				<b>0.0%</b>			
<i>LU t1</i>	163	-0.3%		-0.3%		-0.4%		-0.4%	
<i>sales t1</i>	60896	0.0%		0.0%		-0.2%		-0.2%	
<b>Head number T2</b>	<b>305</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>
<i>LU t2</i>	163	0.0%	-0.6%	0.0%	-0.7%	0,0%	-0,8%	0,0%	-0,7%
<i>sales t2</i>	60896	0.1%	-0.3%	0.1%	-0.4%	0,1%	0,1%	0,1%	-0,2%
<b>Head number T3</b>	<b>305</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>-0,1%</b>
		<i>C1+</i>	<i>C1+</i> ;	<i>C1-</i>	<i>C1-</i> ;	<i>C1+</i>	<i>C1+</i> ;	<i>C1-</i>	<i>C1-</i> ;
		<i>C2+</i>	<i>C2-</i>	<i>C2+</i>	<i>C2-</i>	<i>C2+</i>	<i>C2-</i>	<i>C2+</i>	<i>C2-</i>

Note: results for the 'risk neutral' and the 'risk averse' scenarios are expressed in percentage of variation compared to the 'no risk scenario'

• Profit

First of all, we can notice that impacts of weather conditions on profit are not planned to be totally buffered by production adjustments: profit expectation varies from -17% in the case of two successive years with bad weather conditions to +18% in the opposite situation for the 'risk neutral' situation (Table 7). These extreme values are though slightly lowered in the 'risk averse' scenario (from -15% to +15%). In addition, we can notice that for the first year, losses associated to bad weather conditions are not compensated by gain obtained for good weather conditions.

Table 8 : Variation of profit expectation according to state of nature and to scenario compared to the 'no weather risk scenario'

	'No risk'	'risk neutral'				'risk averse'			
T1	39.7	2.9%		-4.5%		2.8%		-4.3%	
T2 m+	43.9	14%	0%	4%	-13%	12%	1%	4%	-12%
T2 m-	35.5	18%	0%	5%	-17%	15%	1%	5%	-15%
T3 m+	43.9	4%	2%	2%	-1%	6%	3%	2%	-2%
T3 m-	35.5	5%	3%	3%	-1%	7%	3%	3%	-2%
		<i>C1+</i>	<i>C1+</i> ;	<i>C1-</i>	<i>C1-</i> ;	<i>C1+</i>	<i>C1+</i> ;	<i>C1-</i>	<i>C1-</i> ;
		<i>C2+</i>	<i>C2-</i>	<i>C2+</i>	<i>C2-</i>	<i>C2+</i>	<i>C2-</i>	<i>C2+</i>	<i>C2-</i>

Note: results for the 'risk neutral' and the 'risk averse' scenarios are expressed in percentage of variation compared to the 'no risk scenario'

When we comparing profit (in certainty equivalent) over the five year planning horizon, value of stock variation included, the positive variation we observe between 'risk neutral' and 'no risk' scenario appear rather surprising since it would mean that weather variability increases expected profit whereas we were assuming downside risk (Table 8). However, we have to keep in mind that the results presented here are results at equilibrium. Consequently, initial state is not the same according to the scenario. This can explain this differential in favour of the 'risk neutral' scenario. Compared to the risk neutral scenario, the equivalent certain of profit of a risk averse farmer is 0.6% lower. This small deviation can explain that no major change in herd size or herd composition occurred. In addition, when analysing the different objective values obtained, we can see that the addition of inter temporal preferences into the objective function attenuates the differential between the different risk scenarios

Table 9 : Variation of profit expectation according to state of nature and to scenario compared to the 'no weather risk scenario'

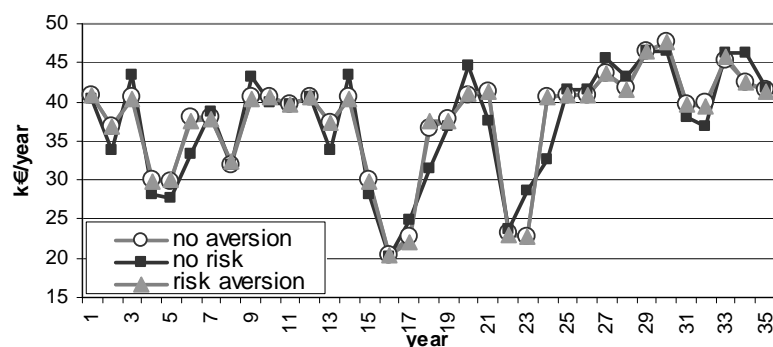
	'No risk'	'risk neutral'	'risk averse'
Sum of certainty equivalent of annual profit over the planning horizon in k€	303.4	0.1%	-0.6%
Objective value (Z) in k€	69.4	0.1%	-0.3%

Note: results for the 'risk neutral' and the 'risk averse' scenarios are expressed in percentage of variation compared to the 'no risk scenario'

### 3.3. Simulation results: consequences of successive stochastic weather conditions

Objective of this section is to assess how farm outcomes are impacted by current and previous weather conditions according to weather risk anticipation scenarios. Over the 35 year horizon, profit varies from 20 k€ to 48 k€ with a coefficient of variation around 18% (Table 9). Average profit is far less inferior to profit estimated for an average year (cf. previous section). This brings evidence of downside risk. There is no much change in profit response to weather conditions between the different scenarios (Figure 3). When embedded risks are anticipated, profit is hardly less variable and there is a 0.3% difference between risk aversion and risk neutrality scenarios. Risk anticipation and risk aversion tend to increase average profit over the 35 year time span (less than 1%) thanks to better information related to weather variability. Risk averse farmers do not have lower profit compared to risk neutral ones because their slightly more precautionary behaviour make them better prepared for non anticipated weather conditions of greater intensities.

Figure 3 : Evolution of profit over time according to risk scenarios Table 9: mean profit and standard deviation over the 35 years



	mean (k€)	standard deviation (k€)
no risk	37.16	7.23
no aversion	0.8%	-4.9%
risk aversion	0.9%	-4.6%

Note : the 'risk neutral' and the 'risk averse' scenarios are expressed in percentage of variation compared to the 'no risk scenario'

Since the three scenarios behave in very similar way, we will only analyse results from the risk neutral one (scenario 2). We first consider two variables of profit: profit alone and profit plus the value of stock variation between the start and the end of the year. Stock accumulation and stock withdrawal help buffering shocks (Figure 1) since profit plus value of stock variation is positive in good years and negative in bad ones. When a very bad year (state of nature 1) is preceded by a good year such as in year  $n5$ ,  $n15$ , profit falls from 40 k€ to 30k€ and stock depletion accounts for 20k€. In year  $n31$ , which corresponds to very bad weather conditions, profit is maintained around 40 k€ thanks to successive favourable years preceding  $n31$ . Figure 5 shows an important accumulation of crop products before  $n31$  with hay stock at the start of year  $n31$  reaching nearly the equivalent of one year consumption. Consequently, compared to year  $n5$  or  $n15$ , the balance between crop sales and crop purchase is far less negative (Figure 6) and forced sales almost negligible (Figure 7). When two bad weather years occur in a row ( $n15$  and  $n16$ ), profit falls lower in the second year than in the first one. In year  $n16$  there is no stock of hay, straw and cereal left (Figure 5). This leads to dramatic feed purchases and animal forced sales.

Figure 4: Evolution of weather conditions, profit and profit plus stock variation

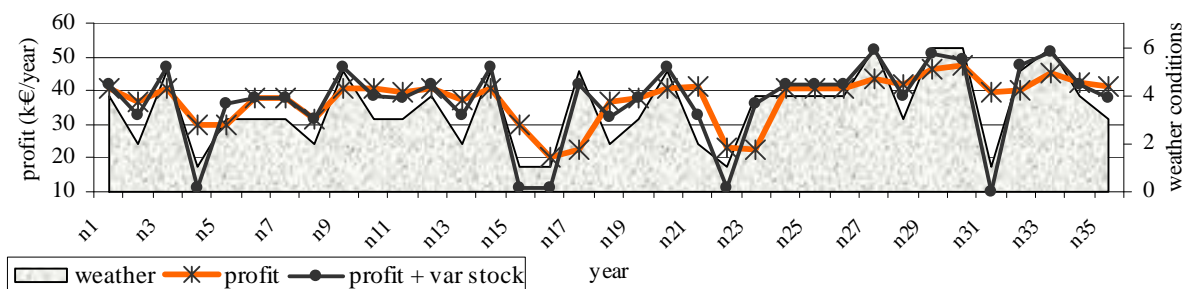


Figure 5 : Evolution of crop product stocks and lagged weather conditions

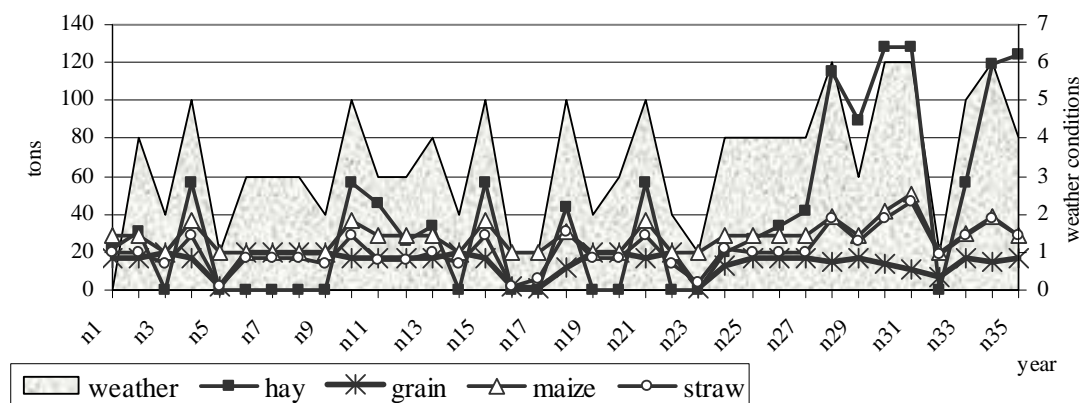


Figure 6 : Evolution crop product sales minus crop product purchases

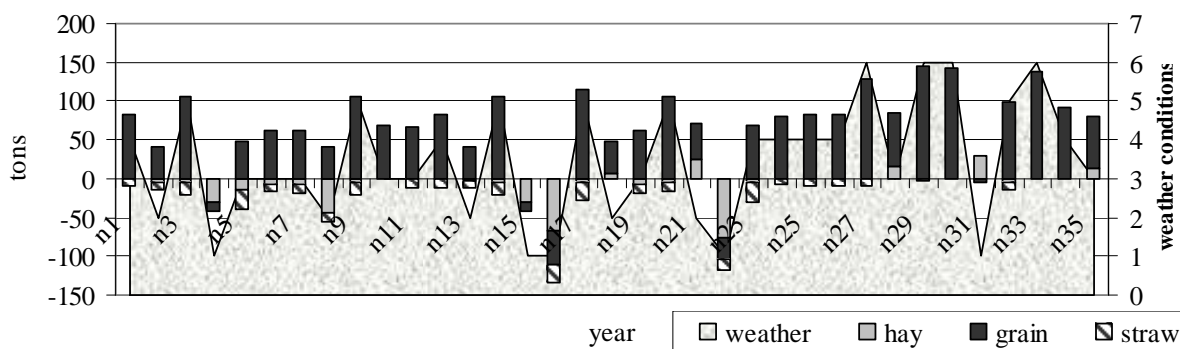
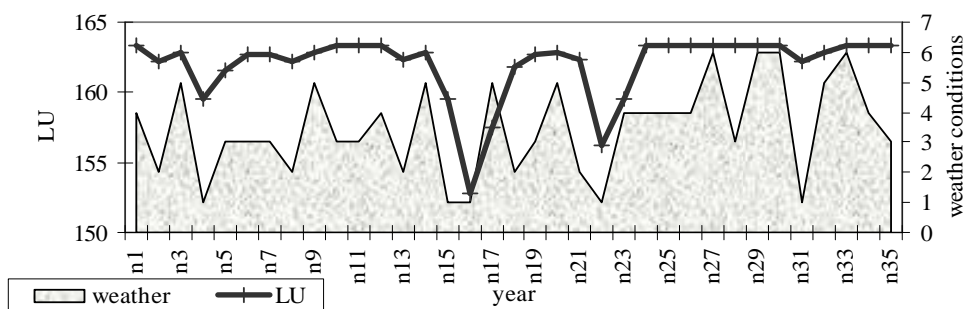


Figure 7 : Evolution of the number of livestock units per year



The indicator of profit plus value of stock variation is much more correlated to weather variations and to variation of pasture yields than profit alone is (Figure 8). Stock variation indeed takes into account simultaneously impacts of current and past weather conditions which is important since after a phase of stock depletion during bad weather years, stocks indeed have to be replenished. To measure properly impacts of weather conditions on current profit or on cash flow, previous weather conditions have to be taken into account. Average of current and previous pasture yield enable us to draw a better relation between weather conditions and current profit (Figure 9).

Figure 8: Correlation between profit variation and pasture yield variation

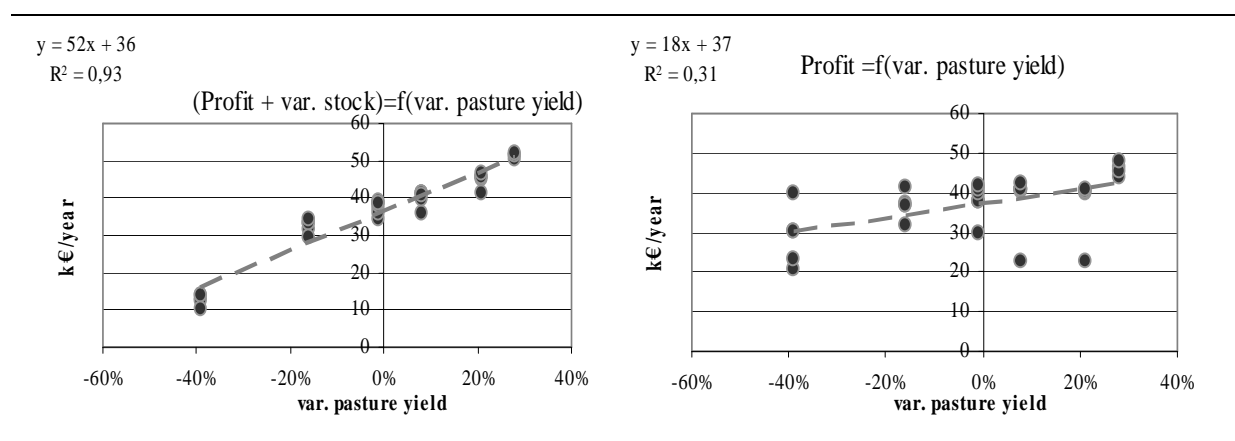
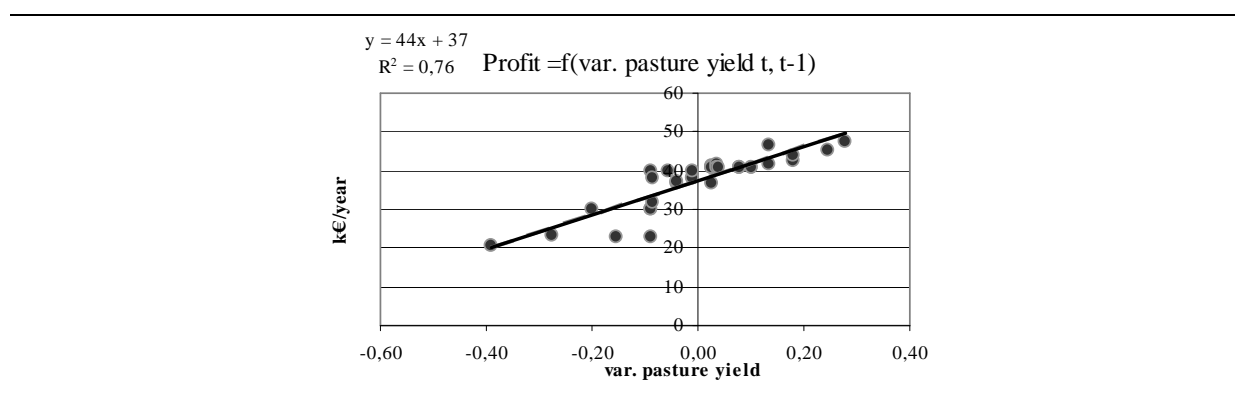


Figure 9: Regression between profit and average variation of current and previous pasture yield



## 4. Discussion

### 4.1. Precautionary behaviour and weather risk anticipation

When anticipation of embedded weather risks are introduced, the model do not find optimal to change strategic decisions such as land allocation, herd size and herd composition in order to reduce profit variation ensuing from random weather conditions. Intra year production adjustments are preferred. Selling less grain in case of unfavourable weather conditions appears to be the main source

of adjustments. Animal production and animal sales are planned to be slightly modified when the second year is a bad one. However, the model does not plan to be fully self-sufficient since the number of hay purchased is important in case of two successive bad weather conditions.

It is difficult to compare our results to those of other equivalent studies since they seldom have a scenario with average weather conditions and another one with variables conditions: in Jacquet and Pluvinage (1997), the 'certain' situation corresponds to a year with good weather conditions; in Kingwell et al., (1993), they compare the possibility to adjust decisions or not for the different states of nature defined for weather conditions. Our findings are not totally in accordance with conclusion of Veysset et al., (2007) who analysed consequences of the 2003 drought on French suckler cow farms thanks to a panel data. They indeed noticed that the most self-sufficient farms were more profitable than the less self-sufficient ones. However, these farms were as well farms with good performances for other technical and economic criteria. In addition, the farm simulated produces its own grain. Substitution between grain and grass or hay could have been less interesting if grain had to be bought. Next, it would be interesting to assess impacts of relative prices (animals versus crop produce) and of the variability anticipated on production decisions.

#### **4.2. Risk aversion**

We observe little changes between risk averse and risk neutral scenarios. Strategic decisions are not modified at all. Production adjustments differ slightly with, in the case of the 'risk averse' scenario animals sold a little bit leaner, a composition of animal diet and variations of grain sales slightly less variable and haymaking with amplitude somewhat more important. These changes underline that risk aversion has very limited effects. This can be explained by the rather low risk premium associated to the 'risk averse' scenario. The simulation over the 35 years confirm that introducing risk aversion leads to a decrease of profit variability around 0.3% compared to the risk neutral scenario and almost no change in average profit. Our introducing of weather conditions unexpectedly unfavourable may have decreased the difference between scenarios. However, Jacquet and Pluvinage (1997) also highlight negligible changes between risk neutrality and risk aversion (introduced by the mean of a safety first constraint) except in the case of wheat price soars. In Lien and Hardaker (2001), no difference between the different level of risk aversion (risk aversion is of CRRA form) is found. This raises questions about real implication of risk aversion in those systems compared to the sensibility of model results to the model formulation and to the parameterization of prices and technical coefficients (Pannell et al., 2000).

#### **4.3. Impacts of successive weather shocks**

The simulation of stochastic weather conditions highlights that current profit (or cash flow) is not really well correlated to current weather conditions whereas current profit plus value of stock variation is highly correlated. Animal (live weight, herd size) and crop produce stocks have a function

of insurance since they help buffering seasonal weather conditions variation: stocks are depleted in bad years and replenished in good ones. Consequently, impacts of weather shocks on farm profit are highly dependant on the initial level of stocks at the beginning of the year. Insurer and policy makers should then take into account at least two years crop yield (current and lagged one) in order to help farmers coping with weather variability.

In this study most important stock variations concern crop produce and animal number. We do not observe important inter year variations of average animal live weights as did Kobayashi et al., (2007) in semi-arid rangeland of Kazakhstan. However, this latter study allows variation of live weights that can lead to increase the mortality rate and decrease reproduction performance. In France, farmers seldom accept to have highly underweight animals which represent for them not only technical (and economic) risks regarding future animal performances but which is also socially unacceptable. However, it is rather strange that although our model simulates intra year variation of cow live weight (with important weight gain at the start of spring) its does not simulated significant inter year variation of live weight in spite of compensatory growth possibilities. This can be partly explained by the model preference to sell animal with the highest live weight as possible: even if compensatory growth is possible, it would be difficult and costly to reach such performances with periods of underfeeding.

According to Lemaire et al., (2006), impacts of expected weather shocks which could normally be buffered by the production systems have to be differentiated from impacts of non expected weather shocks. Since we do not observe change in strategic decisions for average year, 'normal' variations of weather conditions affect profit. There is a threshold between level 2 which is the one closest to the unfavourable state anticipated and the *level 1* which corresponds to a very bad year. *Level 1* indeed induces forced animal sales that we do not observe for other weather shock levels, consequently variations of profits are more important for this shock level. However, this threshold

## **5. Summary and conclusion**

We believe that we have made a methodological contribution to the literature on livestock bio-economic model by developing a framework witch enabled us to introduce numerous dynamic variables (almost 30) and control decisions (diet composition, diet energy content, animal sales, crop produce sales and purchases, land allocation, haymaking ..), to take into account anticipation of embedded weather risks and price risks, and to simulate stochastic weather conditions over a very long time span. This framework, mixing DSP advantages with those of recursive programming, gives a better representation of the functioning of a complex system, such as the suckler cow one, and of decision making. In addition, we propose an adaptation of the GEU objective function used in some SDP model to multi-periodic programming model which makes it possible to account simultaneously for time (rate of time preference and elasticity of inter-temporal substitution) and risk preferences.

Model application helps better understanding impacts of weather risks on suckler cow farmers decisions and on farm outcomes when shocks are successive. This study highlights firstly the importance of production adjustments compared to strategic adaptations to face weather conditions variability. Risk aversion does not weight much in simulated decisions. When farmers are risk averse, they plan however to decrease slightly profit variation according to the different state of weather conditions thanks a very small decrease of animal production. Simulation of successive weather shocks (intensity and frequency of these shocks correspond to real observations over the period 1990-2006) induce a reduction of average mean compared to the simulation of successive 'average' years. Risk of losses appears more important than risk of gain: it corresponds to downside risk. In addition, we observe that weather conditions of previous years affect current profit (or cash flows) since they affect initial stock levels of crop produce, animal number and to a lesser extent animal live weight. Hence, two successive years with bad conditions could have dramatic impacts on farm current profit. In defining program to help farmers coping with weather variability, at least weather conditions of current and previous years should be taken into account.

To assess real capacity of farmers to cope with weather condition variability, other aspects should be investigated, though. The minimum consumption needs of the household have not been introduced; neither have been the possibilities of loans or cash savings to smooth out consumption over time which can condition farmers production decisions (Alary, 2000). Moreover, if price risks anticipation were introduced in this study, we have not tested yet cumulative impacts of stochastic values for price and weather conditions.

## References

- Blanc F., Bocquier F., Agabriel J., Dhour P., Chilliard Y., 2006. Adaptive Abilities of the Females and Sustainability of Ruminant Livestock Systems. A review. *Anim. Res.* 55 (6), 489-510
- Blanco, M.F, Flichman, G., 2002. Dynamic optimisation problems : different resolution methods regarding agriculture and natural resource economics, working paper available online at [http://www.iamm.fr/bn/pdf/publi/flichman-2002-dyn\\_opti.pdf](http://www.iamm.fr/bn/pdf/publi/flichman-2002-dyn_opti.pdf)
- Epstein, L.G., Zin, S.E. (1989). Substitution, Risk Aversion, and the Temporal Behavior of Consumption and Asset Returns: A Theoretical Framework. *Econometrica*, Econometric Society, 57(4) : 37-69
- Flichman, G., Jacquet, F. (2003), Le couplage des modèles agronomiques et économiques : intérêt pour l'analyse des politiques. *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, 67: 51-69
- Frechette, D.L., 2005. How does aversion to intertemporal variation affect hedging behaviour? *Agr. Econ.* 33 :389-398
- Garcia, F., Agabriel, J., 2008. CompoCow: a predictive model to estimate variations in body composition and the energy requirements of cull cows during fattening, *J. of Agr. Sc.*, in press
- Gateau, C., Novak, S., Kockmann, F., Ruget, F., Granger, S., 2006. Évaluation du potentiel herbager de sa variabilité en élevage allaitant. Régionalisation de la démarche ISOP en Saône et Loire, *Fourrages*, 186, 257-269
- Hardaker, J. B. M. Huirne, R. B. Anderson J. R., Lien, G. 2004. *Coping with Risk in Agriculture*, 2nd Edition. CABI Publishing, Wallingford, UK
- Hoch T., Begon C., Cassar-Malek I., Picard B., Savary-Auzeloux I., 2003. Mécanismes et conséquences de la croissance compensatrice chez les ruminants. *INRA Prod. Anim.* 16, 49-59.
- INRA, 2007. *Alimentation des bovins, ovins et caprins*, (eds) QUAE
- Jacquet, F., Pluvinage, J., 1997. Climatic Uncertainty and Farm Policy: A Discrete Stochastic Programming Model for Cereal-Livestock Farms in Algeria, *Agr. Syst.* 53, 387-407
- 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 For. Sc.*, 61: 112-124
- Kingwell, R.S, Pannell, D.J., Robinson, S.D., 1993. Tactical responses to seasonal conditions in whole farm planning in western Australia. *Agr. Econ.* 8, 211-226
- Kobayashi, M., Howitt, R.E, Jarvis, L.S, Laca, E.A., 2007. Stochastic rangeland use under capital constraints, *Amer. J. Agr. Econ.* 89 (3), 205-817
- Lambert, D.K. 1989. Calf retention and production decisions over time. *West. J. of Agr. Econ.* 14(1) 9
- Lence, S.H., 2000. Using a consumption and asset return data to estimate farmers' time preference and risk attitudes, *Amer. J. Agr. Econ.* 82(4), 934-947
- Lien, G., Hardaker, J.B., 2001. Whole-farm planning under uncertainty: impacts of. subsidy scheme and utility function on portfolio choice in Norwegian agriculture, *Eur. Rev. of Agr. Econ.* 28 (1) : 17-36
- Liénard G., Lherm M., 1986. Bases économiques du choix d'un type de production de viande bovine. Cas des troupeaux allaitants. *Prod. de Vi. Bov.* 273-330.
- Nerlove, M., Bessler, D.A., 2001. Expectations, Information and Dynamics, In: Gardner and G.C. Rausser, (eds)

- Handbook of Agricultural Economics, volume 1A B.L. North Holland, pp 155-201
- Moshichi G., Henessy, D.A. 2001. Uncertainty, risk aversion, and risk management for agricultural producers, In: Gardner and G.C. Rausser, (eds) Handbook of Agricultural Economics, volume 1A B.L. North Holland, pp 87-144
- Nicholson, C.F., Lee, D.R., Boisvert, R.N., Blake, R.W., Urbina, C.I, 1994. An optimization model of the dual-purpose cattle production system in the humid lowlands of Venezuela, *Agr. Syst.* 46, 311-334
- Olson, K.D., Mikesell, C.L., 1988. The range stocking decision and stochastic forage production, staff paper p988-16 of university of Minnesota
- Pannell, D.J., Malcolm, B., Kingwell, R.S., 2000. Are we risking too much? Perspectives on risk in farm modelling, *Agr. Econ.*, 23, 69-78
- Alary, V. 2000. Les cacaoculteurs camerounais face aux risques: essai de modélisation. L'harmattan, Paris
- Pottier E., Delaby L., J. Agabriel J. (2007). Adaptations de la conduite des troupeaux bovins et ovins aux risques de sécheresse. *Fourrages*, 191, 267- 284.
- Mosnier C., Thomas A., Reynaud A., Lherm M., Agabriel J. (XXa), Estimating a production function under production and output price risks: An application to beef cattle in France, *submitted*
- Mosnier, C., Agabriel, J., Lherm, M., Reynaud A. (XXb). A dynamic bio-economic model to simulate optimal adjustments of suckler cow farm management to production and markets shocks I. Model description and model behaviour, *submitted*
- Mosnier, C., Agabriel, J., Lherm, M., Reynaud A. (XXc). A dynamic bio-economic model to simulate optimal adjustments of suckler cow farm management to production and markets shocks. II. Model evaluation and application, *submitted*
- Veysset, P., Bebin, D., Lherm, M. (2007). Impacts de la sécheresse 2003 sur les résultats technico-économiques en élevage bovin allaitant charolais, Actes des journées de l'AFPF, 27-28 mars 2007, Paris : 135-144
- Moxnes, E., Danell, Ö., Gaare, E., and Kumpula, J. (2001). Optimal strategies for the use of reindeer rangelands. *Ecological Modelling* 145 (2-3): 225-241
- Lemaire, G., Micol, D., Delaby, L., Fiorelli, J.L., Duru, M., Ruget, F. 2006b, Sensibilité à la sécheresse des systèmes fourragers et de l'élevage des herbivores, in Sécheresse et agriculture : réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Rapport de l'expertise scientifique collective réalisée par l'Inra à la demande du ministère de l'Agriculture et de la Pêche.
- Lemaire, G., Delaby, L., Fiorelli, J.L., Micol, D., 2006a, Adaptations agronomiques au risque de sécheresse : Systèmes fourragers et élevage, in Sécheresse et agriculture : réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Rapport de l'expertise scientifique collective réalisée par l'Inra à la demande du ministère de l'Agriculture et de la Pêche.

## *Partie 4:*

---

# *Discussion générale*

---

### *Table des matières de la partie 4*

---

1. <i>Quels sont les leviers d'ajustement préférés et préférables pour faire face aux aléas de prix et de climat?</i> .....	152
Les ajustements de la production aux aléas de prix.....	152
Les ajustements de la production aux aléas climatiques .....	152
2. <i>Quels sont les impacts de l'anticipation des risques sur les décisions des éleveurs?</i> .....	157
Quelle est l'attitude des éleveurs vis-à-vis des risques.....	158
L'anticipation des risques et l'aversion au risque induit-elle des comportements de 'précaution'?.....	159
3. <i>Quels sont les impacts des aléas de prix et de climat sur les résultats économiques ?</i> .....	162
Les profits des éleveurs sont-ils sensibles aux aléas de prix et de climat ?.....	162
Les impacts des aléas de prix et de climat sur les profits sont-ils proportionnels à leur intensité ?.....	163
4. <i>Les apports méthodologiques de la thèse</i> .....	165
Le modèle économétrique .....	165
Le modèle développé en programmation mathématique.....	167



Dans cette thèse nous avons cherché à mettre en évidence, à comprendre et à prédire les impacts des aléas de prix et de climat sur les décisions de production des éleveurs et sur leurs conséquences technico-économiques. Nous nous étions fixés pour objectifs de répondre aux trois questions suivantes :

- Quels sont les leviers d'ajustement privilégiés, au niveau du système de production, pour faire face aux risques de prix et de climat?
- Quels sont les impacts des aléas de prix et de climat sur les résultats économiques ?
- Quels sont les impacts de l'anticipation des risques sur les décisions des éleveurs et sur les résultats économiques?

Nous ambitionnions également de contribuer à améliorer les méthodes existantes de modélisation du risque dans les systèmes d'élevage.

Nous avons pour cela fait appel aux analyses suivantes :

- *Partie 2* : Analyse de la base de données
  - *Partie 2.1* : Analyse statistique (description de la base de données et analyse des corrélations entre aléas et variations interannuelles des indicateurs technico-économiques)
  - *Partie 2.2* : Analyse économétrique (estimation d'une fonction de production et de l'attitude des éleveurs vis-à-vis du risque)
- *Partie 3* : Simulations à partir de modèle en programmation mathématique
  - *Partie 3.1* : Simulation d'aléas isolés d'intensité variant de -60% à +60% par rapport aux rendements « moyens » des cultures ou aux prix « moyens » des bovins. Le modèle est déterministe i.e. la variabilité des prix et du climat ne sont pas anticipées
  - *Partie 3.2* : Simulation d'une succession d'aléas climatiques. Le modèle est probabiliste dans la mesure où deux états sont anticipés pour les prix des bovins et le climat : un état favorable et un état défavorable.

Dans cette discussion générale, nous proposons de reprendre et de discuter les différents points forts de ce travail. Les résultats des différentes analyses seront synthétisés et discutés, d'une part, par rapport à la littérature scientifique et, d'autre part, par rapport à notre expertise technique car il n'existe pas toujours de références bibliographiques sur lesquelles nous puissions appuyer notre discussion. Nous discuterons ensuite de l'originalité du modèle économétrique puis du modèle en programmation mathématique que nous avons développés.

## **1. Quels sont les leviers d’ajustement préférés et préférables pour faire face aux aléas de prix et de climat?**

Il existe de nombreux leviers possibles d’ajustement du système de production pour faire face aux aléas de prix et de climat. Nous voulions déterminer quels leviers étaient préférentiellement utilisés dans les exploitations observées et quels étaient ceux qui paraissaient optimaux par rapport à un objectif de maximisation du profit.

### **1.1. Les ajustements de la production aux aléas de prix**

Sur l’ensemble de l’échantillon observé (partie 2.1), les prix sont corrélés positivement aux kilos produits et négativement au chargement, aux quantités d’animaux vendus et à la part d’animaux engraisés. Ces corrélations sont très liées aux deux crises ESB. Les animaux engraisés se vendaient moins mal que les animaux maigres, ce qui a incité les éleveurs à repousser la vente de leurs animaux maigres dans l’espoir d’avoir de meilleurs revenus. Dans les simulations effectuées (partie 3.1), il faut aller au-delà de +40% de variation de prix des animaux ou en deçà de -40% de variation pour observer une modification des ventes : davantage d’animaux sont alors vendus soit pour diminuer les coûts de production, soit pour profiter de prix exceptionnellement élevés. En réalité, jusqu’à présent les variations de prix observées n’ont guère excédé 15%, ce qui veut dire qu’il n’y a en fait aucune modification de la stratégie de vente dans une plage de variation de prix réaliste. Dans notre modèle, l’éleveur ne peut repousser la vente des animaux à l’année suivante car sa capacité à engraisser est déjà saturée en année ‘moyenne’ : il peut vendre les animaux plus tôt mais pas plus tard. Au-delà de 40% de baisse de prix, il devient plus intéressant de « brader » des animaux plus jeunes et plus légers et de valoriser la production de céréales directement par la vente. On peut s’étonner qu’il faille une telle baisse de prix pour induire une baisse du niveau de production de viande. Il serait ainsi intéressant de comparer le coût de production en fonction des prix de l’alimentation et les recettes induites par la vente d’un bovin en fonction du prix de la viande afin de mieux comprendre ce seuil de 40%.

### **1.2. Les ajustements de la production aux aléas climatiques**

#### *1.2.1. Ajustements de la gestion des surfaces fourragères*

En ce qui concerne la gestion des surfaces agricoles, l’analyse statistique présentée dans la partie 2.1 met en évidence une corrélation positive entre le rendement des fourrages et la proportion des surfaces en prairies fauchées : lorsque les rendements fourragers sont médiocres, le pâturage de l’herbe est privilégié par rapport à la récolte de foin. Les simulations réalisées et présentées dans les parties 3.1 et 3.2 sont en adéquation avec ces résultats. Le coefficient de variation interannuelle simulé

de la surface fauchée est proche de celui observé (19% et 14% respectivement), ce qui montre que l'utilisation simulée de ce levier d'ajustement est proche de celle observée. Ces résultats sont corroborés par ceux de Jouven et Baumont (2008) et Romera et al., (2005) qui pointent également l'intérêt d'ajuster la date de fauche et la surface fauchée en fonction des conditions climatiques et de l'état des prairies. Lorsque des aliments substituables au foin récolté sont disponibles sur le marché, il est moins coûteux de faire pâturer les animaux plutôt que de récolter l'herbe et compléter les animaux ensuite.

### *1.2.2. Ajustement du chargement par les ventes d'animaux*

Les résultats des simulations 3.1 et 3.2 présentent des ventes précoces d'animaux (surtout pour certaines catégories d'animaux) lorsque les événements climatiques sont défavorables. Ainsi pour une perte de rendement de 15%<sup>10</sup> (importante mais non catastrophiques), environ 12% des vaches sont vendues maigres alors qu'elles sont toutes engraisées lors d'une année moyenne. L'évènement climatique pénalise donc les ventes de l'année en cours mais n'a pas d'effet sur les années suivantes. Lorsque les pertes de rendement fourrager sont supérieures à 30%, ce qui correspond à la sécheresse de 2003, quelques génisses sont vendues maigres à 24 mois au lieu d'être vendues engraisées à 30 mois en année « moyenne » (jusqu'à 75% des génisses engraisées en années « moyennes » sont vendues maigres lorsque deux années climatiques très mauvaises se suivent). Cela se traduit par une augmentation des ventes correspondant à l'année de l'aléa climatique défavorable et par une diminution du chargement et des ventes l'année qui suit. L'analyse statistique sur les résultats observés n'a pas permis de confirmer ces résultats obtenus par simulations. On observe néanmoins dans notre base de données une légère décapitalisation du cheptel en 2003, suivie d'une baisse des quantités vendues en 2004.

Dans la plupart des études, la vente précoce d'animaux est un levier majeur pour diminuer les besoins alimentaires du troupeau ou pour réduire les risques de baisse de performance du troupeau (Gillard et Monypenny, 1990; Olson et al., 1988). Diaz-Solis et al., (2006) mettent également en avant l'intérêt de la réduction temporaire du chargement pour diminuer la pression au pâturage et éviter de dégrader les prairies. Cependant, quand ces ventes ne sont pas compensées par des achats d'animaux, les éleveurs doivent s'attendre à des manques à gagner dans les années qui suivent, ce qui n'est pas forcément une perspective attrayante.

---

<sup>10</sup>On trouve des résultats un peu différents entre les simulations du 3.1 et du 3.2. Ces écarts peuvent s'expliquer des aléas climatiques « caricaturés » dans le 3.1 puisque nous avons supposé que toutes les cultures étaient affectées de la même manière et que les prix des intrants n'étaient pas modifiés. Dans le 3.2, bien que les rendements des différentes cultures soient modifiés dans le même sens, les variations n'ont pas la même amplitude (le rendement du blé varie moins que celui des prairies) et les prix des fourrages sont affectés par les variations climatiques.

Lors d'années climatiques favorables, l'analyse des corrélations (partie 2.1) montre que la vente de certains animaux est repoussée à l'année suivante lorsque les récoltes fourragères sont plus abondantes. Ces observations ne sont significatives que pour la classe correspondant aux élevages de mâles maigres avec un chargement élevé (classe1) et ne sont donc pas généralisables à l'ensemble de l'échantillon. Nous ne pouvons simuler de tels ajustements dans notre modèle, car pour une « moyenne », le modèle décide d'engraisser tous les animaux au maximum. Il n'a donc plus de marge de manœuvre pour augmenter la production. Olson et Mikesell (1988) mettent en évidence qu'en cas de rendement fourrager supérieur à la moyenne, les ajustements ne se font pas par le report de la date de vente des veaux mais par l'achat d'animaux de façon à valoriser les surplus de fourrage. Ces résultats vont dans le même sens dans la mesure où, lors d'une année normale, les animaux sont gardés le maximum de temps possible. Nous ne pouvons comparer les ajustements des achats d'animaux car cette possibilité n'est pas incluse dans notre modèle du fait que ces pratiques sont très limitées dans les élevages étudiés.

### 1.2.3. Ajustement du poids et de l'alimentation des animaux

L'estimation du modèle économétrique (partie 2.2) montre que la quantité de viande produite à l'hectare est très faiblement mais significativement sensible aux variations de rendement des cultures fourragères. Cependant, il est difficile de distinguer dans l'analyse des bases de données (partie 2) si les quantités d'animaux vendues et produites varient par la modification de la date de vente ou du fait d'un changement de poids à la même date. Les simulations de la partie 3 privilégient le maintien des objectifs de production du troupeau. Le poids n'est modifié qu'en cas d'année extrême et cette variation de poids n'affecte que certains types d'animaux (Tableau 18).

Tableau 18 : Variations interannuelles du poids des animaux (comparés aux mêmes mois) sur une simulation de 35 années climatiques (issue de la simulation du 3.2)

Classe d'animaux	Coefficient de variation moyen	Pourcentage de variation maximum par rapport au poids des animaux en année 'normale'
Vache multipare	0,7%	7,1%
Vache primipare	0,2%	1,0%
Vache à l'engrais	0,2%	1,8%
Génisse 1 an	0,0%	0,3%
Génisse 2 ans	0,0%	0,4%
Génisse à l'engrais	0,0%	0,0%
Mâle 1 an	0,0%	0,3%
Taurillon à l'engrais	0,0%	0,6%

Les ajustements observés et simulés sont en revanche plus importants au niveau de l'alimentation des animaux et des sources d'approvisionnement. Les corrélations estimées (partie 2.1) mettent en évidence l'augmentation de la consommation de concentrés par UGB et des achats d'aliments grossiers en cas de mauvaise année climatique. Les résultats du modèle économétrique

(2.2) confirment que lorsque les rendements fourragers diminuent, les quantités de concentrés servent à maintenir la production. Enfin, les optimisations (partie 3) indiquent également que face aux variations climatiques, la composition des rations est ajustée pour maintenir les performances du troupeau. L'estimation de l'importance des ajustements réalisés diffère cependant selon les méthodes utilisées. Sur l'échantillon des 65 exploitations observées, la moyenne des coefficients de variation de la consommation de concentrés par UGB est d'environ 18%. Dans notre modèle, les quantités de concentré sont ajustées dans des proportions beaucoup plus importantes (en fonction des conditions climatiques cette consommation s'échelonne entre 250 kg et 1100kg/UGB, Tableau 19). Bien que certaines exploitations de notre panel aient de tels taux de variations, on peut s'interroger sur les raisons de ce fort différentiel. Dans notre modèle, les ressources végétales sont utilisées sans gaspillage, la moindre variation de production fourragère se répercutant directement sur les quantités récoltées ou sur les quantités pâturées. En réalité, il y a du gaspillage lorsque la production est abondante (causé par exemple par des problèmes de portance des sols en année humide, ou par un tri trop sélectif des animaux) et au contraire une valorisation plus efficace des prairies par les animaux en année difficile (cas du pâturage ras par exemple). Il y a donc une moindre variation des ressources utilisables par les animaux et donc un moindre besoin d'ajustement par l'éleveur de la complémentation en concentrés. De plus, pendant les mois de pâturage, nous n'avons pas imposé dans le modèle la saturation de la capacité d'ingestion des animaux. Cette obligation aurait pu limiter les rations très riches en concentrés les années où il n'y a pas d'herbe.

Tableau 19 : Comparaison entre les consommations moyennes de concentré, leur variabilité et leurs corrélations observées (partie 2.1) et simulées partie (3.2)

	Base de données (partie 2.1)			Simulation sur 35 ans (partie 3.2)		
	Moyenne <sup>†</sup>	CV <sup>‡</sup>	Corrélation *	moyenne	CV	corrélation
% concentré	574	18%	-0,2	524	42%	-0,5

<sup>†</sup>la moyenne est calculée sur 20 ans et 65 exploitations ;<sup>‡</sup> le coefficient de variation correspond à l'écart type moyen des 65 exploitations divisé par la moyenne ;\* le coefficient de corrélation entre les variations interannuelles du rendement et des variables d'ajustement est celui estimé sur l'ensemble de l'échantillon

Les résultats de nos différentes analyses s'accordent sur le fait que l'augmentation de la consommation de concentrés et les achats supplémentaires d'aliments grossiers (paille et foin) sont préférables et préférées la plupart du temps à la baisse des performances animales (même temporaire). Ces résultats sont en accord avec les observations de Veysset et al., (2007) sur l'impact de la sécheresse de 2003 dans les exploitations suivies. Cette étude met en évidence les principales réactions des éleveurs face à cette conjoncture exceptionnelle mais ne permet pas de savoir si les décisions prises étaient optimales. Des travaux de simulation (Sullivan et al., 1981 ; Kobayashi et al., 2007 ; Diaz-Solis et al., 2006 ; Gillard et Monypenny, 1990...) attestent par ailleurs que la complémentation des animaux en cas de sécheresse améliore globalement les résultats des exploitations. Néanmoins,

dans ces études, la complémentation des animaux est utilisée pour pallier les trop grosses baisses de performances mais ne compense pas complètement le déficit énergétique des animaux. Ainsi, Kobayashi et al., (2007) ne proposent qu'une complémentation hivernale, Sullivan et al., (1981) limitent cette pratique aux veaux sevrés, Diaz-Solis et al., (2006) testent différents niveaux de complémentation ne dépassant pas 60% du déficit énergétique des animaux tandis que Gillard et Monypenny (1990) introduisent la possibilité d'une complémentation des animaux de façon à assurer les besoins minimaux d'entretien (c'est-à-dire sans croissance). Ces études ne testent donc pas s'il serait optimal de maintenir les performances animales grâce à l'achat de foin ou à l'augmentation de la part d'aliments concentrés dans les rations. Elles supposent implicitement que les éleveurs ont tout intérêt à jouer sur la capacité d'adaptation des animaux. De plus, il faut noter que la plupart de ces études ont été réalisées pour des systèmes ayant des conditions climatiques différentes des nôtres (Australie semi-aride pour Gillard et Monypenny, 1990 ; Kazakhstan pour Kobayashi et al., 2007; Afrique de l'Est pour Sullivan et al., 1981 ; au Mexique semi aride pour Diaz-Solis et al., 2006), et avec des troupeaux bien plus grands.

Sous nos latitudes plus tempérées, il est plus de facile de compléter efficacement le troupeau (sur des durées somme toute modestes) que dans les systèmes très extensifs des régions semi-arides. Maintenir les objectifs de poids des animaux en période climatique défavorable n'est donc pas forcément aberrant. Ces observations introduisent cependant le doute sur la capacité de notre modèle à simuler correctement les phénomènes de croissance compensatrice et d'adaptation physiologique des animaux. En théorie, les besoins d'entretien augmentent avec le poids de l'animal et diminuent si l'animal s'amaigrit par sous-alimentation (Agabriel et Petit, 1987). Nous avons ainsi introduit un coefficient permettant de moduler les besoins théoriques de l'animal, en fonction de l'écart entre le poids simulé et le poids théorique. La capacité d'ingestion d'un animal augmente avec son poids mais varie aussi en fonction de son état. Un animal maigre aura une plus grosse capacité d'ingestion qu'un animal gras (Agabriel et al., 2001 ; INRA, 2007 chap.3). Nous avons calculé cette capacité d'ingestion par rapport au poids théorique de façon à ne pas pénaliser les animaux maigres. Le poids des animaux peut varier entre +/- 5% du poids théorique et le Gain de poids Moyen Quotidien (GMQ) peut varier de +/-10% du GMQ théorique. Au cours d'une année, le modèle simule ainsi une perte de poids de 50 kg des vaches multipares pendant l'hivernage, fœtus non compris, poids qu'elles récupèrent au printemps. Cette perte représente une variation de près de 8% par rapport au poids moyen (le maximum autorisé est de 10%). De plus, dans la simulation réalisée dans la partie 3.2, bien que l'ajustement interannuel des poids soit faible il n'est pas inexistant. Nous avons pu observer que les variations de poids d'une année sur l'autre atteignent -7% pour les vaches multipares lorsque deux évènements climatiques très défavorables se produisent deux années de suite (Tableau 18).

Afin de tester les possibilités offertes par le modèle d'ajuster les poids et les croissances des animaux, nous avons réalisé une simulation avec un poids initial des animaux égal au poids minimum autorisé et nous l'avons comparé à la situation d'équilibre du modèle. On observe que tous les

animaux rattrapent dans l'année au moins leur poids théorique moyen (sauf les multipares qui sont toujours en dessous du poids moyen à la fin de l'hiver). Certains animaux ne rattrapent pas leur poids 'maximum' autorisé, qui correspond aussi au poids en année 'normale' (les taurillons, les génisses engraisées et les primipares). Au final, on voit qu'un tel schéma est très coûteux pour l'exploitation puisqu'on observe une baisse de profit de presque 15% la 1<sup>ère</sup> année, qui s'explique par une augmentation des quantités d'énergie ingérées et une baisse de la quantité de viande vendue (Tableau 20).

Tableau 20 : Comparaison des résultats technico-économiques des exploitations en fonction du poids initial des animaux

	Poids initial = poids initial à l'équilibre (1)	Poids initial = poids minimum (2)	Différentiel (1)- (2)
Résultats économiques (t1+t2) en k€	66,2	72,4	-6,2
Consommation énergétique du troupeau en milliers d'UF (t1+t2)	1183	1204	+21
Tonnes de viande initiale t1	125,7	119,1	-6,6t
Tonnes de viande initiale t3	125,7	125,6	-0,1t
Tonnes de viande vendue (t1+t2)	181,9	118,9	-63t

Nous pensons au final que notre modèle permet de simuler correctement les phénomènes de croissance compensatrice. Dans le contexte de prix actuel, il semble donc que la complémentation des animaux et le maintien des performances animales soient des décisions optimales pour faire face à des aléas climatiques pas trop extrêmes et expliquent les observations de terrain. Cependant la forte augmentation d'aliments concentrés dans les rations en cas de baisse de production des prairies a pu être favorisée par le fait que l'exploitation simulée produit des céréales (à paille). Le coût de cet ajustement est un peu plus élevé lorsque l'éleveur doit acheter la totalité des céréales. Il reste à définir plus précisément pour quels rapports de prix, entre prix de la viande et coûts des aliments, l'ajustement du poids des animaux serait préférable à l'ajustement de la composition de la ration.

## 2. Quels sont les impacts de l'anticipation des risques sur les décisions des éleveurs?

L'anticipation des risques peut modifier les décisions des éleveurs pour deux raisons. Premièrement, l'éleveur peut ne pas aimer prendre de risque. Dans ces conditions, il aura tendance à faire des choix de production auxquels sont associés des profits peu variables, quitte à avoir des profits moyens inférieurs à ce qu'il aurait pu avoir s'il avait accepté le risque. La seconde raison vient du fait

que les pertes occasionnées par des aléas défavorables peuvent ne pas compenser les gains apportés par des aléas favorables. Les choix de production optimaux pour un aléa ‘moyen’ peuvent alors être différents des choix optimaux lorsque la distribution des aléas est prise en compte (même sans aversion au risque). Nous avons pour but d’estimer le comportement de l’éleveur vis-à-vis de ces risques et d’évaluer quelles transformations du système avaient lieu lorsque les risques étaient anticipés.

## 2.1. Quelle est l’attitude des éleveurs vis-à-vis des risques

L’attitude des éleveurs vis-à-vis des risques a été appréciée par le modèle économétrique. La fonction de production estimée a mis en évidence que les aliments concentrés et l’azote permettaient de diminuer la variabilité de la production de viande. Compte tenu de l’efficacité de ces intrants et des rapports entre le prix du kilo de viande vendue par l’éleveur et le prix auquel il se procure les intrants, le modèle économétrique montre que les éleveurs étaient averses aux risques. Ils utilisent en effet une plus grande quantité d’intrants que le niveau jugé optimal lorsque les risques ne sont pas pris en compte. Par ailleurs, nous avons évalué que cette aversion au risque, ou cette surconsommation de concentrés et d’azote, augmentait lorsque les marges brutes bovines par travailleur diminuaient. Cette marge brute est étroitement liée au nombre d’UGB par travailleur. Elle est par contre peu corrélée aux autres caractéristiques techniques du système telles que la part d’animaux engraisés (Tableau 21). Il semblerait donc que les éleveurs ayant moins de capital (ou de ‘richesse’) aient une gestion moins économe des intrants par rapport aux objectifs de production visés.

Tableau 21 : Corrélations entre la marge brute bovine moyenne par travailleur et les différentes variables technico-économiques

	RWC/ exploitation	RWC / UTH	SAU/ UTH	UGB/ UTH	MB bov. /ha	UGB/ SFP	% males engraissés	Azote/ ha SFP	concentrés conso./ha
MB bovine par travailleur	<b>0,42</b>	<b>0,70</b>	<b>0,46</b>	<b>0,85</b>	<b>0,38</b>	0,02	0,10	0,03	0,14

*En gras, valeurs significatives au seuil alpha=0,050 (test bilatéral)*

*Nombre d’observation : N=65 (une donnée moyenne par exploitation)*

*Note : RWC signifie le revenu du travail et des capitaux*

Bien qu’il n’y ait pas de consensus sur le caractère croissant ou constant de l’aversion relative au risque en fonction du niveau de richesse (Moshini et Henessy, 2001), beaucoup d’études s’accordent sur le fait que cette aversion est décroissante et de type CRRA (aversion relative au risque constante) et DARA (aversion absolue au risque décroissante) (Saha et al., 1994 ; Chavas et Holt, 1996). Beaucoup ont comme nous rejeté l’hypothèse d’aversion constante en fonction du niveau de richesse (Chavas et Holt, 1990 ; Pope et Just, 1991).

La valeur que nous avons estimée pour le coefficient d’aversion relatif au risque est de 2,38. Le coefficient d’aversion relatif a l’avantage de ne pas avoir d’unité (contrairement au coefficient

d'aversion absolue), ce qui le rend plus comparable à ceux utilisés dans d'autres études (Hardaker et al., 2004). Anderson et Dillon (1992) ont classé les valeurs de ces aversions relatives de 0,5 pour un individu très peu averse au risque à 4 pour un individu très fortement averse au risque. Les éleveurs observés sont ainsi très averses au risque. La valeur trouvée est du même ordre de grandeur que celle estimée par Lins et al., (1981), Raskin and Cochran (1986), Chavas and Holt (1990), Saha et al., (1994), Bar-Shira et al., (1997). Cependant, si le coefficient d'aversion relatif au risque n'a pas d'unité, il n'en reste pas moins une fonction de 'la richesse' et non une constante. Il y a de fortes chances pour qu'un indicateur de richesse caractérisé par une forte variabilité entre exploitations aboutisse à l'estimation d'un coefficient d'aversion moins élevé que si l'indicateur avait été plus stable (l'aversion relative au risque ne change pas si la richesse est multipliée ou divisée par une constante mais est affectée par l'ajout ou le retrait d'une constante, Hardaker et al., 2004). La définition de ce qu'est la 'richesse' reste assez floue (Shankar et Nelson, 2003). Elle correspond en théorie au revenu sur lequel l'éleveur peut compter (soit par rapport à la valeur de son capital, soit par rapport à une composante 'certaine' du revenu). Cette 'richesse' est considérée comme un paramètre intrinsèque à l'exploitation. Cependant, avec un même coefficient d'aversion au risque, l'utilité du profit net, qui ne comporte pas de partie 'constante' ou 'certaine' sera beaucoup plus affectée que l'utilité de la 'richesse' (Lien et Hardaker, 2001). Dans notre modèle de simulation, qui maximise l'utilité du profit net, nous avons adopté la démarche proposée par Hardaker et al., (2004) et appliquée par Lien et Hardaker (2001) et Havlik et al., (2005) pour convertir le coefficient d'aversion au risque relatif à la richesse, à un coefficient d'aversion au risque partiel, relatif au profit net. Nous trouvons ainsi un coefficient d'aversion au risque de 0,5 ce qui est proche des coefficients simulés par les deux études précédentes.

Peu d'études ont estimé des fonctions de production relative à l'élevage de ruminants (Griffith et al., 1982). Aucune, à notre connaissance, n'a évalué quelle était l'attitude de ces éleveurs vis-à-vis des risques et quel était leur degré d'aversion au risque. Cette étude apporte des résultats originaux et peut ainsi aider ceux qui souhaitent simuler le comportement des éleveurs de ruminants vis-à-vis des risques.

## **2.2. L'anticipation des risques et l'aversion au risque induit-elle des comportements de 'précaution'?**

La simulation effectuée dans la partie 3.2 révèle que ni l'anticipation des risques de prix et de climat, ni l'aversion au risque n'entraînent de modification des décisions stratégiques : assolement, taille et composition du troupeau restent identiques en année 'moyenne' au scénario de référence dans lequel les risques ne sont pas anticipés. Le fait que les prix des animaux maigres soient un peu moins variables que celui des animaux gras n'influence pas les choix du modèle, même lorsque le coefficient d'aversion au risque est fortement accru. Havlik et al., (2005) avaient également observé une situation

assez semblable lorsqu'ils avaient simulé l'impact de l'aversion au risque et de la variabilité des prix sur les choix de production d'éleveurs de bovins allaitants des Monts du Cantal. Avec un très fort coefficient d'aversion au risque et une variabilité des prix multipliée par trois, la taille du troupeau n'a diminué que de 0,1 UGB.

Nous avons introduit en plus des risques de prix, des risques climatiques. Nous nous attendions à ce que le chargement diminue un peu en année 'normale' de façon à constituer des stocks de sécurité pour l'été suivant et l'année suivante. Dans notre modèle, les éleveurs semblent avoir tout intérêt à disposer en début de période de stocks de fourrages d'avance. Cependant les stocks atteints à l'équilibre, pour une année normale, résultent d'achats de précaution (l'éleveur achète avant que le prix des fourrages n'augmente) et de diminution des quantités de foin consommées (compensée par du concentré pour 'économiser' du foin<sup>11</sup>). Le modèle cherche en effet à avoir des stocks correspondant à environ un mois de réserve au cas où une mauvaise année climatique se produirait. Il n'apparaît cependant pas optimal de diminuer significativement la production moyenne pour réduire les risques de production (le nombre d'UGB présents sur l'exploitation sur l'ensemble de l'année diminue de moins de 0,5 UGB soit 0,3%).

Les résultats simulés sont en contradiction avec plusieurs études. En effet, Rawlins et Bernardo (1991) montrent que l'anticipation et l'aversion aux risques de prix et de climat induisent une diminution du chargement et une modification du type d'animal produit dans les élevages de l'Oklahoma. Ce travail contraint cependant les variations de profit à ne pas dépasser un certain seuil. Contrairement à notre approche où l'arbitrage entre niveau moyen de profit et variabilité du profit est endogène, l'approche de Rawlins et Bernardo (1991) impose un niveau risque 'acceptable'. Gillard et Monypenny (1990) estiment quant à eux que parmi quatre niveaux initiaux de chargement testés, le niveau de chargement optimal pour une année climatique moyenne est aussi celui qui apporte le meilleur revenu moyen sur le long terme. En valeur absolue, les revenus obtenus avec des chargements plus élevés varient plus que ceux des scénarios avec de plus faibles chargements, mais ramenées au revenu moyen, ces variations sont inférieures. L'étude de Lien et Hardaker (2001) montre que l'anticipation des risques de prix et de rendement des cultures et l'aversion au risque n'ont aucun effet sur les choix stratégiques de l'exploitation. Dans le cas qu'ils ont étudiés, c'est-à-dire la production de bovins laitiers en Norvège, les contraintes liées aux possibilités de production et à la régulation par les politiques publiques pèsent beaucoup sur les décisions des éleveurs, ce qui relaye les risques finalement au second plan.

---

<sup>11</sup> A l'auge, le modèle a l'obligation de satisfaire 80% de la capacité d'ingestion des animaux. Du foin est donc nécessaire. Or, le prix du foin acheté lors d'une mauvaise année climatique est très cher, ce qui incite le modèle à limiter les achats de foin.

L'estimation d'une aversion forte des éleveurs au risque et le faible impact de celle-ci sur les choix de production, interroge. Les impacts de l'aversion au risque sont faibles lorsque les risques climatiques sont anticipés, et sont nuls lorsque seuls les risques de prix sont introduits. Dans le modèle économétrique, la fonction de production étudiée était continue, alors que dans notre modèle mathématique, elle ne l'est pas complètement (la modification des choix de production peut entraîner des 'sauts' de profit) et elle est bornée par des contraintes structurelles et techniques. Le Tableau 22 expose la valeur de la fonction objectif (qui correspond à la somme actualisée de l'utilité des équivalents certains des profits annuels<sup>12</sup>) et des équivalents certains des profits pour l'année 2 (le risque de prix est introduit pour les années 2 à 5). Le différentiel en « équivalent certain » entre le profit annuel d'un individu neutre au risque et d'un individu avec une aversion au risque 0,5 (ce que nous avons simulé) est d'environ 100€ soit 0,2% du profit moyen. Bien que les variations de profits soient de +/- 5000€, cette différence est certainement trop faible pour inciter l'éleveur à opter pour une production moins risquée. Comme l'ont souligné Hardaker et al., (2004), lorsque cette 'prime de risque' (qui correspond entre le profit moyen et son équivalent certain) est faible, les changements effectués au niveau du système de production sont relativement marginaux.

Tableau 22 : 'Primes de risque' associées en fonction du coefficient d'aversion relatif au risque

	Sans aversion	Aversion partielle = 0.5	Aversion partielle = 0.9
Profit de l'année t2 (équivalent certain)	39 703	39 593	39 506
Objectif Z	69 442	69 359	69 291

Note : ces simulations ont été effectuées sans le risque climatique, à partir de la même situation initiale

Bien que nous ayons conclu que l'aversion au risque ne se traduisait que par de modification des choix de production, il faut noter que notre étude tout comme celles précédemment citées, n'ont pas pris en compte la variabilité des prix des intrants liés à la volatilité des prix sur le marché mondial (comme par exemple l'augmentation de 150% du prix du blé en 2007). Dans de telles conditions, la recherche d'autonomie et une moindre consommation de céréales peut être un enjeu plus fort. Ces modèles n'ont pas non plus inclus les coûts de transaction et les difficultés auxquelles un éleveur peut être confronté lorsqu'il doit acheter dans l'urgence, des fourrages qui se font rares. Ce problème est d'autant plus important pour les éleveurs soumis à des cahiers des charges contraignants (cas de l'agriculture biologique). De plus, les reformulations des rations alimentaires induisent des risques de

<sup>12</sup> L'équivalent certain correspond au profit moyen moins la prime de risque soit dans notre fonction objectif :  $Equiv. Certain = [E(\Pi_t^{1-\gamma})]^{1/(1-\gamma)}$  avec  $\gamma$  l'aversion relative au risque, et  $E(\Pi)$  l'espérance du profit

perte de production pour l'éleveur qui n'ont pas été introduits (l'éleveur ne maîtrise pas forcément les réponses des animaux à de nouvelles rations).

### **3. Quels sont les impacts des aléas de prix et de climat sur les résultats économiques ?**

#### **3.1. Les profits des éleveurs sont-ils sensibles aux aléas de prix et de climat ?**

Les différentes analyses effectuées s'accordent sur le fait que les variations climatiques et les variations de prix affectent les profits des éleveurs. L'analyse statistique (2.1) et la simulation présentée dans la partie 3.2 montrent que lorsque l'on est face à une succession d'aléas climatiques, prendre en compte les variations climatiques de l'année précédente permet de mieux expliquer les variations de profit de l'année en cours<sup>13</sup>. Les simulations effectuées (3.1) mettent en évidence que, contrairement aux variations de prix affectant uniquement les profits de l'année en cours, les aléas climatiques ont, au-delà de 20 % de variation des rendements moyens, des répercussions sur les profits de l'année suivante. Les aléas climatiques passés conditionnent en effet l'état des stocks initiaux (d'aliments conservés ou d'animaux), et ces stocks peuvent tamponner ou au contraire amplifier l'impact d'un aléa climatique sur les profits présents. Gillard et Monypenny (1990) ont montré par simulation que le manque à gagner lié à une forte sécheresse pouvait se faire sentir plusieurs années après. Dans cette étude, la sécheresse induit une baisse de la fertilité des vaches et donc une diminution du nombre d'animaux pouvant être vendus cinq ans après. Dans notre modèle, la fertilité des vaches ne dépend pas de leur état corporel. Cela pourrait être introduit comme le suggère Blanc et al., (2008), dans la limite des notes d'état autorisées par le modèle (de 2 à 3). Mais, la réponse des vaches en termes d'intervalle vêlage –vêlage resterait modeste. L'analyse de la base de données ne montre pas non plus de baisse de la fertilité, ni d'augmentation du taux de réforme à la suite d'une mauvaise année climatique.

Les analyses effectuées permettent de donner une première approximation de l'impact des aléas sur les résultats économiques des exploitations. Si on considère une variation du prix des bovins de 1% par rapport au prix moyen, les résultats d'une régression linéaire effectuée à partir des données observées sur les 65 exploitations (cf 2.1) indiquent que la marge brute et les recettes bovines varient de 0,7 % (Tableau 23). Les résultats de la simulation (3.1) montrent plutôt que ces recettes sont modifiées de 1%. Pour la marge brute, cette sensibilité est amplifiée (une fois les charges retirées, le pourcentage de variation est plus important). Pour une variation de 1% des rendements des cultures, des variations de 0,6% et 0,3 % respectivement du niveau du niveau des charges et de la marge brute

---

<sup>13</sup> Les revenus dont on parle ici ne prennent pas en compte l'évaluation de la variation de stock entre le début et la fin de l'année.

sont observées. Nous simulons des variations de charges du troupeau et de marge brute de plus grandes amplitudes (Tableau 23). Il n'est pas surprenant de simuler des variations plus importantes que celles que l'on observe dans la mesure où dans l'observé, il existe de nombreuses autres sources de variations qui peuvent rendre, au final, les résultats économiques moins sensibles aux aléas. Il est également possible que notre modèle ait un peu surestimé la sensibilité des profits aux variations climatiques (le pouvoir tampon du pâturage des prairies n'est pas très bien rendu dans le modèle). Il est un peu délicat de déterminer exactement quel est l'impact des aléas sur les résultats économiques des exploitations dans la mesure où l'on suppose que les analyses à partir des observations sont sans doute un peu sous-estimées et que celles à partir des simulations sont un peu surestimées. Il est probable que la réalité soit entre les résultats donnés par ces deux approches.

Tableau 23 : Variations des résultats économiques en fonction des variations des rendements des cultures et des prix des bovins : résultats des régressions linéaires sur données simulées et observées

a) Régression linéaire à partir des résultats des simulations				b) Régression linéaire à partir des résultats de l'analyse de données (N=1105)			
	Var MB	var charge	var recette		Var MB	var charge	var recette
var prix	1,3	0,0	1,0	var prix	0,73	/	0,7
var clim*	0,5	-1,8	0,0	var climbis	0,26	-0,6	/

Note : pour le a) seules les variations entre -40% et +40% sont utilisés i.e. N=7; pour le b) N=1105

Var= pourcentage de variation par rapport à la valeur moyenne ; clim = rendement des cultures de l'année en cours ; climbis =moyenne des rendements fourragers de l'année en cours et de l'année précédente ; Recette = vente des animaux ;

MB = marge brute à l'ha= ventes animales et végétales+ aides directes –charges du troupeau et des cultures

Charges à l'ha = charges du troupeau et de la SFP – vente des céréales

\*des résultats similaires sont trouvés à partir de la simulation du 3.2 lorsque l'on considère l'indicateur 'climbis'

### 3.2. Les impacts des aléas de prix et de climat sur les profits sont-ils proportionnels à leur intensité ?

Nous avons émis trois hypothèses en introduction de cette thèse (p 32) concernant l'impact des aléas climatiques sur les profits : 1) les aléas climatiques passés diminuent la capacité des éleveurs à faire face à de nouveaux aléas, 2) les aléas 'anticipés' ou que l'on pourrait considérer comme 'habituels' n'ont pas ou peu d'effets sur les profits des éleveurs car ces derniers ont prévu des marges de sécurité, 3) les très bonnes années ne compensent pas les mauvaises.

Comme nous l'avons vu dans le paragraphe traitant de l'impact de l'anticipation des risques sur les profits, nous simulons que les éleveurs modifient peu leurs décisions lorsqu'ils anticipent les risques. Cela se traduit dans la partie 3.2 par l'absence de réel 'palier' entre les risques anticipés pouvant être tamponnés et les risques non anticipés en simulant l'impact des aléas climatiques sur 35 ans. D'autres analyses sont cependant nécessaires pour approfondir cette question. On pourrait ainsi

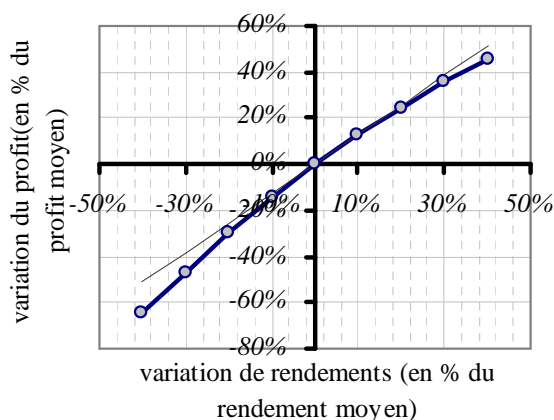
imposer l'autonomie alimentaire sur l'horizon anticipé ou simuler différentes intensités d'aléas climatiques anticipés afin de voir si des effets de seuil apparaissent.

La simulation d'une séquence d'aléas climatiques réalisée dans la partie 3.2 a mis en évidence que pour des aléas climatiques de même intensité, les impacts pouvaient être très différents. Comme nous l'avons rappelé dans le paragraphe précédent, ces impacts sont très dépendants de l'état des stocks en début d'année (stock de fourrage, nombre et poids des animaux) qui eux-mêmes dépendent des aléas climatiques des années précédentes. Les profits sont tout particulièrement affectés lorsque deux très mauvaises années se suivent. On observe ainsi dans simulation présentée dans la partie 3.2 une baisse de profit de 25% correspondant à la première année catastrophique (n15), et de près de 50% pour la 2<sup>ème</sup> année catastrophique consécutive (n16). Ceci confirme que l'éleveur peut difficilement supporter deux très mauvaises années de suite.

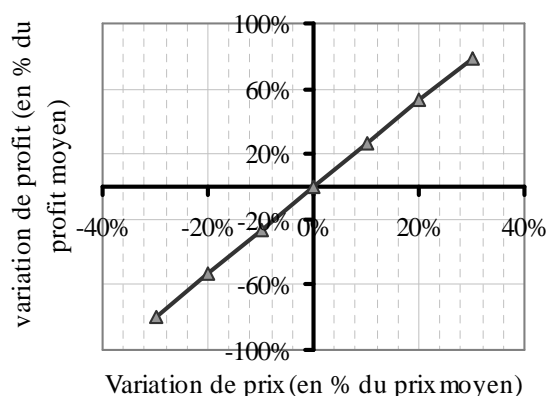
Nous avons montré dans le chapitre 3.1 que des conditions climatiques très favorables ne compensent pas totalement des conditions climatiques très défavorables, même lorsque l'on considère que les prix des aliments ne varient pas en fonction des aléas climatiques (Figure 35a). Le profit simulé pour une année avec des conditions climatiques 'moyennes' est donc probablement supérieur à la moyenne des profits pour des années avec des conditions climatiques aléatoires. Ceci est confirmé par la simulation du 3.2<sup>14</sup> dans laquelle le profit moyen est 6% inférieur au profit d'une année 'moyenne'. Si le changement climatique s'accompagne d'une augmentation de la fréquence d'évènements climatiques extrêmes comme cela est envisagé, une baisse du profit moyen des éleveurs est à craindre.

Figure 35 : Variations du profit en fonction de l'intensité des aléas, simulées dans la partie 3.1

a) Variation du profit en fonction des variations de rendements des cultures



b) Variation du profit en fonction des Variations des prix des bovins



<sup>14</sup> Cette simulation comprend 35 années. A chaque année correspond un aléa climatique. Sur la période simulée, la distribution des aléas est équivalente à celle observée sur la période 1990-2006.

En ce qui concerne les impacts des aléas de prix sur les profits, en fonction de leur intensité, l'analyse effectuée dans la section 3.1 révèle que pour des variations de prix inférieures à 30% (ce qui inclut la plage de variation observée jusqu'à présent), les variations négatives et positives sont parfaitement symétriques (Figure 35b). Ceci est à relier au fait que le modèle n'ajuste pas la production aux variations de prix (voir aussi la discussion dans la section précédente 4.1). Au vu de ces résultats, l'estimation des impacts des variations de prix sur les profits pourrait être facilement approximée par une fonction linéaire des quantités et des types d'animaux vendus en années moyennes.

Plus généralement, on peut s'interroger sur la réelle capacité des éleveurs à supporter des baisses de profits aussi importantes que celles simulées (jusqu'à 50% de baisse dans le cas de deux années climatiques catastrophiques consécutives). Les producteurs ont en effet des besoins minimum incompressibles afin d'assurer leurs différentes charges familiales, sociales et de structure (Alary, 2000). Cette contrainte peut modifier les décisions optimales en augmentant par exemple le recours à la décapitalisation du cheptel pour dégager de la trésorerie. Cependant, sans introduire les possibilités qu'ont les éleveurs d'utiliser leur épargne, les facilités d'emprunts et/ ou d'assurance, imposer un profit minimum dans le modèle nous paraissait arbitraire et difficile à quantifier.

## **4. Les apports méthodologiques de la thèse**

### **4.1. Le modèle économétrique**

Nous avons développé dans le cadre de cette thèse un modèle économétrique permettant à la fois d'estimer une fonction de production de type Just et Pope en présence de risques de production et de prix, et, de révéler l'attitude des éleveurs vis-à-vis des risques. Nous avons appliqué ce modèle à la production de viande à partir de deux intrants contrôlables par l'éleveur -les quantités d'azote appliquées sur la SFP et les quantités de concentrés distribuées aux animaux- lorsque les conditions climatiques peuvent affecter la production de la SFP et lorsque les caractéristiques des exploitations (fertilité des sols, technicité des éleveurs) sont hétérogènes. Nous pensons ainsi avoir contribué à une meilleure estimation de fonction de production en présence de risques de plusieurs façons.

Plusieurs études montrent la nécessité de prendre en compte l'objectif du producteur (optimisation de la fonction objectif) en présence de risques pour estimer correctement la fonction de production (Love et Buccola, 1991 ; Saha, et al., 1994 ; Kumbhakar et Tveteras, 2003). Le risque lié au prix de la viande et le risque de production peuvent avoir des effets antagonistes sur le niveau d'utilisation des intrants. Une augmentation de la variabilité du prix de la viande peut ainsi inciter l'éleveur à réduire sa production et donc l'utilisation de certains intrants, alors qu'une augmentation de la variabilité de la production peut, elle, favoriser l'utilisation d'intrants lorsque ces derniers en retour

diminuent la variabilité initiale de la production. Prendre en compte ces deux types de risque dans l'estimation de la fonction de production et dans l'estimation de l'attitude des éleveurs vis-à-vis des risques apparaît donc important. Cependant, à notre connaissance, personne n'a encore procédé à une telle estimation en considérant simultanément ces deux sources de risque. Isik (2002) a proposé une équation permettant de relier les intrants endogènes (i.e. dont le niveau est choisi par l'éleveur) aux variables exogènes comme par exemple les prix. Dans cette thèse, nous avons montré l'applicabilité et l'intérêt d'une telle approche et nous avons reformulé la proposition d'Isik pour l'adapter à des problèmes avec deux intrants endogènes.

Si d'autres études ont estimé l'impact du climat sur la distribution de la production, elles ne traitent que des productions végétales et n'introduisent pas d'intrants endogènes (Chen and Chang 2005; Isik and Devadoss 2006). En élevage, la production de fourrage qui dépend directement des conditions climatiques n'est qu'un produit intermédiaire dans la production de viande. Ainsi, en fonction des conditions climatiques, les applications d'azote sont plus ou moins efficaces pour augmenter les rendements de la SFP. De plus, les éleveurs peuvent ajuster les quantités de concentrés et les achats de fourrage pour pallier au déficit de production fourragère et maintenir la production (les décisions sont prises séquentiellement). Face à ce type de problème, nous avons proposé d'introduire explicitement un indicateur climatique dans la fonction 'moyenne' et dans la fonction 'variance' de la fonction de production de Just et Pope et de croiser cet indicateur avec les intrants endogènes. Une telle formulation présente le double avantage de réduire les biais induits par l'occurrence d'évènements contemporains et d'estimer l'impact des variations climatiques non seulement sur la distribution de la production mais aussi sur l'efficacité des intrants.

Nous n'avons toutefois pas exploité toutes les possibilités offertes par l'estimation de ce modèle de production. Les paramètres estimés et le modèle structurel proposé peuvent être mis à profit pour simuler par exemple l'impact de variation du prix de la viande, du prix des intrants ou des rendements des surfaces fourragères sur les quantités de viande produites et sur les quantités d'intrants utilisées. Cependant, dans le cadre de cette thèse nous avons préféré réaliser les simulations à partir du modèle en programmation mathématique que nous avons développé. Comparativement au modèle économétrique, le modèle en programmation mathématique permet de modéliser plus finement le système de production, les interactions entre les différentes composantes du système et leurs dynamiques.

## **4.2. Le modèle développé en programmation mathématique**

### *4.2.1. La structure du modèle : une suite récursive d'optimisations d'un modèle multi périodique (Dynamique Stochastique Discrète)*

En développant un modèle mettant en œuvre une suite d'optimisations multi-périodiques de type DSP (Discrete Stochastic Programming), initialisées de façon récursive par les résultats de l'optimisation précédente, nous pensons avoir contribué à la modélisation du risque dans les modèles en programmation mathématique.

La résolution de certains modèles classiquement utilisés devient difficile lorsque l'on veut simuler des systèmes complexes. La taille des modèles en programmation dynamique stochastique (SDP) « explose » avec le nombre de variables dynamiques considérées et leur résolution devient vite un problème. Celle des modèles en programmation dynamique stochastique discrète (DSP) augmente fortement avec le nombre d'aléas 'encastrés' (i.e. lorsque l'éleveur pense pouvoir modifier ses décisions après que l'aléa se soit réalisé) pris en compte et le nombre de périodes considérées dans l'horizon de planification de l'éleveur, horizon sur lequel les décisions sont optimisées. Grâce à la structure que nous proposons, il est possible de simuler l'évolution d'un grand nombre de variables dynamiques et des résultats économiques sur une très longue période. Cette structure permet de modéliser le processus décisionnel de l'éleveur de façon assez réaliste. L'horizon de planification sur lequel est réalisé l'optimisation peut être relativement long (dans notre cas, il est de cinq ans) tout en restant si besoin inférieur à l'horizon simulé. Des risques encastrés et non encastrés peuvent être introduits bien que le temps de résolution du modèle augmente énormément avec le nombre de risques encastrés introduits. On suppose par ailleurs que seules les décisions prises pour les premières périodes de l'horizon de planification sont définitives et que les décisions futures sont réajustées lors de l'optimisation suivante si de nouvelles informations sont apportées. Cette formulation semble représenter le processus décisionnel de façon réaliste dans la mesure où on peut supposer que l'éleveur n'a ni le temps ni les moyens d'envisager toutes les éventualités possibles pour les 30 prochaines années (Blanco et Flichman, 2002). Cependant, contrairement à l'approche SDP, les décisions simulées sont optimales par rapport au programme d'optimisation sur 5 ans dont ces résultats sont issus mais pas forcément par rapport à l'horizon entier de simulation.

Résoudre un problème dynamique par une suite récursive d'optimisations d'un modèle multi périodiques n'est pas un concept nouveau en soi (Barbier et Bergeron, 1999 ; Louhichi et al., 2001 ; Blanco et Flichman, 2002; Wallace et Moss, 2002 ; Iglesias et al., 2003 ; Belhouchette et al., 2004). La démarche que nous avons adoptée est cependant différente dans la mesure où nous avons utilisé une suite récursive d'optimisations d'un modèle DSP pour résoudre un problème de gestion dynamique de la production en présence de facteurs extérieurs aléatoires. Nous pouvons ainsi simuler une succession

d'aléas -anticipés ou non- et observer les trajectoires d'évolution des exploitations sur le court (le mois) et le long terme (plusieurs dizaines d'années si nécessaire). Des simulations sur des périodes suffisamment longues permettent de retracer la fonction de distribution des profits.

#### *4.2.2. Un modèle qui propose de nombreuses activités et de nombreuses sources de flexibilité*

Notre modèle permet de reproduire une large gamme d'itinéraires de production bovine. Les femelles peuvent être vendues à 49 périodes différentes, les mâles à 24 périodes différentes ; à chaque période les animaux sont vendus dans un intervalle de plus ou moins 5% de leur poids théorique. La majorité des animaux produits dans le Bassin Charolais peuvent ainsi être intégrés dans le modèle. Pour le moment, le modèle ne permet de tester que des systèmes avec une date de vêlage centrée au 1<sup>er</sup> février. Il pourrait être intéressant dans de futurs développements de proposer différents paramétrages afin de comparer des systèmes présentant des vêlages de printemps, d'hiver ou d'automne. Nous n'avons pas non plus introduit la possibilité d'augmenter la taille de l'exploitation, de vendre et d'acheter des heures de travail comme cela a pu être fait dans d'autres modèles (Louhichi, 2001 ; Louhichi et al., 2006 ; Ridier, 2001). Nous avons en effet préféré insister sur les ajustements de la production plutôt que sur les changements structurels.

Une des originalités de notre modèle réside dans la prise en compte de nombreuses possibilités d'ajustements de la gestion du troupeau et des ressources fourragères aux conditions de climat et de marché. Chaque mois, le modèle peut permettre de vendre ou conserver des animaux, fixer la composition et le contenu énergétique de leur ration, recourir à l'achat, à la vente ou au stockage de produits végétaux, décider de faucher tout ou partie des surfaces en prairies. La possibilité d'ajuster le poids des animaux de façon endogène apparaît comme un atout important. En effet, si beaucoup de modèles bioéconomiques laissent libre la composition des rations, le poids des animaux est généralement fixé, ce qui ne permet pas de mettre à profit les capacités des animaux à tamponner les aléas. Jusqu'à présent, seuls Lambert (1989) et Kobayashi et al., (2007) ont défini le poids de façon endogène. Cependant, ces études n'autorisent pas d'avoir des conduites différentes selon les types d'animaux alors qu'il peut être intéressant dans certains cas de favoriser certaines catégories d'animaux par rapport à d'autres. De plus, l'introduction de dynamique de la biomasse des prairies nous permet d'ajuster les quantités pâturées, les quantités fauchées et le report de biomasse sur pied d'un mois sur l'autre (la qualité du foin est supposée constante quelque soit le mois de récolte). Si certains modèles ont introduit explicitement les stocks d'aliments (Barbier et Bergeron, 1999; Louhichi et al., 2004 etc.), à notre connaissance, ces stocks ne concernent que les dynamiques des aliments conservés. Enfin, c'est la combinaison de l'ensemble de ces moyens d'ajustement dans un seul modèle qui fait son principal intérêt par rapport aux autres modèles de simulation ou d'optimisation existants.

#### *4.2.3. Un modèle qui simule le comportement des exploitations de bovins allaitants de façon relativement cohérente et fidèle*

Nous avons dans la partie 3.1 procédé à l'évaluation du modèle dynamique dans sa version déterministe. Cette évaluation a porté sur l'analyse du comportement du modèle et sur la comparaison des résultats simulés pour la période 2000-2006 aux résultats observés dans notre échantillon. Nous avons pu voir que globalement l'équilibre était stable (pour des niveaux de prix, de climat de politiques agricoles donnés) et que les évolutions des variables économiques et techniques simulées étaient très proches de celles observées sur la période étudiée. Cependant, quelques faiblesses ont pu être mises à jour. Tout d'abord, les poids simulés des animaux vendus sont très stables comparativement à ceux observés. Ceci peut s'expliquer par le fait que, dans un modèle, il est plus facile de contrôler le poids des animaux que dans la réalité. Ensuite, la surface fauchée simulée est plus faible que celle observée et les variations interannuelles du rendement des prairies sont peu corrélées à celles estimées par les statistiques d'Agreste. Le modèle de végétation a été validé dans le cadre de la construction du modèle SEBIEN (Jouven et al., 2006), pour des prairies des monts du Cantal ; il se peut que la végétation des prairies permanentes de cette région réagisse un peu différemment de celle rencontrée dans les prairies du Bassin Charolais. Une étude plus approfondie devra être faite afin de mieux comprendre les écarts i) entre les prédictions du modèle de végétation et les estimations d'Agreste et ii) entre les équilibres fauche- pâture simulés et ceux observés dans les exploitations.

Nous avons également mis en évidence un travers propre aux modèles d'optimisation : celui de changements brutaux d'activités de production. Le découplage simulé a ainsi induit un arrêt de l'engraissement des génisses qui ne s'est pas observé en réalité. Le modèle choisit toujours l'activité la plus rentable quitte à changer brusquement d'activité alors qu'en réalité, si deux activités ont des rentabilités proches, il peut être coûteux pour l'exploitant de changer ses pratiques, surtout s'il pense que ce changement est temporaire.

Nous avons simulé dans ce travail de thèse des exploitations produisant majoritairement des taurillons. Ce modèle n'a donc pas été validé pour les autres types de production comme la vente de maigres seulement. Une des raisons du choix était que le modèle ne simulait toujours que des animaux engraisés lorsqu'on lui en laissait la possibilité. Le modèle opt'INRA développé au Laboratoire d'Économie de l'Élevage de Theix (modèle d'optimisation mono périodique d'exploitations de bovins allaitants) est confronté au même problème et doit interdire la production de mâles gras pour que la production de broutards maigres qui soit choisit. L'analyse descriptive de la base de données, effectuée dans la partie 2.1, indique par ailleurs que les caractéristiques structurelles des exploitations ne sont pas significativement différentes entre les différentes orientations de production. Pour simuler les exploitations produisant des animaux maigres, il faudrait donc soit interdire la production de

taurillons, ce qui limite aussi les possibilités d'adaptation de l'exploitation, soit introduire d'autres contraintes comme par exemple les heures de travail disponibles.

Enfin nous avons seulement évalué le comportement et les résultats du modèle déterministe. Bien que le modèle probabiliste donne des résultats très proches et que d'après les premières simulations effectuées il se comporte de façon cohérente, une évaluation plus approfondie serait nécessaire.

Les modèles déterministe et probabiliste reposent sur la même base. Il est donc très aisé à partir de la version probabiliste d'effectuer des simulations déterministes. Le temps de résolution de la version probabiliste est bien supérieur à celui de la version déterministe et avec les conditions de prix et de climat que nous avons simulé, peu de changements apparaissent entre les résultats de ces deux versions. Si les analyses ne portent pas spécifiquement sur les risques, des simulations réalisées avec le modèle déterministe peuvent donner des résultats suffisants, nécessitant surtout un temps de calcul moindre.

## *Partie 5:*

---

# *Conclusions et Perspectives*

---



Les conditions climatiques et les marchés sont d'importantes sources de variabilité du revenu des éleveurs de bovins allaitants. Cette variabilité est amenée à s'accroître plus encore avec le changement climatique et la libéralisation des échanges agricoles. Pour y faire face, les éleveurs doivent continuellement adapter et ajuster leur système de production afin de limiter les pertes et/ou de profiter de nouvelles opportunités. Les pouvoirs publics ont également pour mission de veiller à ce que la pérennité de la majorité des élevages ne soit pas menacée.

Dans cette thèse, nous nous sommes focalisés sur **l'évaluation des impacts des aléas de prix de la viande bovine et des aléas climatiques sur les décisions de production des éleveurs et sur leurs résultats technico-économiques**. Nos objectifs étaient plus particulièrement 1) de déterminer quels étaient les leviers d'ajustement de la production préférés et préférables dans un objectif de maximisation du profit pour faire face aux aléas, 2) d'évaluer quels étaient les impacts des risques sur les décisions des éleveurs et 3) d'estimer les impacts de ces aléas sur les revenus des éleveurs.

Pour répondre à ces questions, **nous avons combiné de façon originale et complémentaire des méthodes relatives à l'analyse de données et à la simulation**. Grâce à l'existence et à l'analyse d'un panel de 65 exploitations suivies sur 20 ans, nous avons appuyé notre travail sur des observations réelles. La simulation, quant à elle, nous a donné accès à des variables techniques qui n'étaient pas renseignées dans la base de données. Elle nous a par ailleurs permis d'isoler l'effet des aléas et de simuler des situations non encore observées.

**Nous pensons avoir contribué à la modélisation des risques agricoles en améliorant les modèles existants**. Nous avons ainsi développé un **modèle économétrique** permettant d'estimer conjointement une fonction de production de type Just et Pope en présence de deux sources de risque et l'attitude des éleveurs vis-à-vis du risque. Jusqu'à présent aucune estimation empirique n'avait été réalisée avec deux sources de risque. De plus, nous avons appliqué ce modèle à un problème complexe dans lequel 1) la variabilité des rendements fourragers peut affecter non seulement la distribution de la production de viande mais aussi l'utilisation des intrants, et, 2) l'hétérogénéité des exploitations peut causer des problèmes d'endogénéité.

Nous avons par ailleurs construit **un modèle dynamique d'exploitation en programmation mathématique**. Il s'agit d'une suite récursive d'optimisations d'un modèle multi-périodique. Deux versions de ce modèle multi-périodique ont été proposées : une version déterministe dans laquelle les risques ne sont pas anticipés et une version probabiliste (modèle en programmation dynamique stochastique discrète) qui suppose que l'éleveur anticipe des risques climatiques 'encastrés' (i.e. l'éleveur anticipe qu'il pourra réajuster ses décisions une fois que les aléas se seront produits) et des risques de prix. Comparativement aux autres types de modèles classiquement utilisés, la structure récursive proposée présente l'avantage de supporter l'introduction d'un grand nombre de variables dynamiques et de variables de décision, et, permet ainsi de simuler des systèmes de production

complexes. Jusqu'à présent, aucun modèle n'avait autorisé simultanément autant de possibilités d'ajustement au niveau de la gestion du troupeau et des cultures. De plus, cette structure offre la possibilité d'analyser les trajectoires des exploitations sur les court et long termes, lorsque les prix et le climat sont stochastiques.

Les différentes analyses (statistiques et simulations) nous ont permis de répondre aux questions que nous nous étions posées. Nous avons établi sur la base des données observées que les **éleveurs sont averses au risque** et que cette aversion augmente lorsque leur richesse diminue. Dans nos simulations, nous n'avons cependant **pas relevé de modification notable des décisions stratégiques** en liaison avec cette anticipation des risques et avec l'aversion au risque des éleveurs. Les ajustements intra-annuels constituent le principal levier d'adaptation aux risques.

Les leviers d'ajustement de la production, préférés et préférables, **pour faire face aux aléas climatiques défavorables** (par rapport à un objectif de maximisation du profit) sont **l'augmentation de la part des concentrés dans les rations** des animaux et **l'achat de fourrages** de façon à **maintenir les objectifs de production du troupeau** d'une part, et d'autre part **l'ajustement des surfaces fauchées** de façon à privilégier le pâturage. Si les conditions climatiques sont vraiment très mauvaises (de l'ordre de la sécheresse de 2003), des ventes précoces sont réalisées. Pour des aléas de prix entre -40% et +40% des prix moyens, ce qui couvrent largement les variations de prix observées jusqu'à présent qui sont plutôt comprises entre -15% et +10%, et pour **des variations de prix affectant tous les types d'animaux dans les mêmes proportions, la production n'est pas modifiée**. La production simulée et observée apparaissent cependant sensibles à une modification des prix relatifs entre animaux gras et animaux maigres.

Enfin, nous avons mis en évidence à partir de l'analyse de la base de données que les profits des éleveurs étaient affectés par les aléas de prix et de climat. Les résultats de nos simulations et de nos observations indiquent que i) **les variations de prix se font ressentir directement et dans les mêmes proportions sur les recettes** des ventes bovines (il y a néanmoins des écarts entre l'impact observé et celui simulé), ii) seuls les profits de l'année en cours sont affectés et que iii) globalement les gains sont symétriques aux pertes. En ce qui concerne les aléas climatiques, les variations de production végétale se répercutent essentiellement sur les charges du troupeau et de la SFP de l'année en cours et de l'année suivante, le rendement fourrager et les charges bovines variant à peu près dans les mêmes proportions. Les aléas climatiques peuvent par conséquent avoir des impacts sur les résultats économiques des exploitations plusieurs années suivant l'aléa. Prendre en compte les aléas climatiques de l'année antérieure pour évaluer l'impact des aléas de l'année en cours apparaît être un minimum. De plus, les pertes causées par des aléas négatifs ne sont pas totalement compensés par les gains supplémentaires obtenus lors des années favorables, et, deux mauvaises années climatiques de suite (d'intensité similaire à celle de la sécheresse de 2003) peuvent entraîner des baisses de profit

pouvant atteindre jusqu'à 50% du profit moyen. Cela signifie qu'**une augmentation de la fréquence des évènements climatiques extrêmes pourrait affaiblir les revenus moyens des éleveurs.**

Il est évident que les résultats des simulations dépendent des rapports de prix entre les différents types d'animaux, entre les différents types d'aliments et entre le prix des bovins et le prix de des aliments. Il serait ainsi intéressant d'estimer les substitutions entre les différents types d'ajustement en fonction de leur rapport de prix afin d'évaluer la sensibilité de nos résultats. Les résultats obtenus pourraient alors être plus utilisables pour faire du conseil.

De plus, effectuer ces simulations pour des modalités de la PAC 2010 (après l'application des ajustements successifs au Bilan de Santé de la PAC de fin 2008) paraît également nécessaire pour actualiser nos résultats. Les analyses réalisées dans cette thèse utilisaient en effet les modalités de la PAC 2003 afin que le contexte pour lequel nous avons réalisé nos simulations ne soit pas trop différent de celui observé dans notre base de données. De plus, si seule la PMTVA subsiste après 2009 (les autres primes étant totalement découplées), l'incitation à engraisser les animaux sera fortement réduite, ce qui peut par exemple favoriser les ventes précoces lorsque les conditions climatiques sont mauvaises.

Pour améliorer la fiabilité des résultats des simulations du modèle en programmation mathématique, nous pensons qu'il faut améliorer la modélisation du pâturage dans ses différentes composantes. Nous souhaiterions en effet 1) simuler des rendements de production fourragère plus proches de ceux estimés dans les statistiques nationales ou tout du moins mieux comprendre les écarts entre l'observé et le prédit, 2) intégrer des contraintes de comportement d'adaptation de l'animal et par exemple la satisfaction minimale de la capacité d'ingestion au pâturage et 3) moduler les quantités d'herbe réellement disponibles en fonction des conditions climatiques. Une collaboration plus étroite avec les équipes travaillant et développements des modèles sur l'ingestion au pâturage permettrait de mieux traiter ces aspects.

Intégrer un module financier, quitte à simplifier un peu le modèle de production si les temps de calculs deviennent trop importants (en imposant un pas de temps de 2 mois au lieu d'un mois par exemple), nous donnerait la possibilité d'approfondir la question de la capacité des éleveurs à faire face aux risques. Ce module nous permettrait de prendre en compte des problématiques d'agrandissement et de changements structurels, de besoins minima de revenu pour l'éleveur et l'intérêt de leviers d'ajustement aux aléas tels que l'emprunt et l'épargne. Nous serions alors intéressés par la confrontation des problématiques d'agrandissement et d'endettement avec la gestion courante des aléas. Nous supposons en effet que l'endettement en France et l'augmentation des charges incompressibles sont des facteurs limitant la flexibilité des exploitations.

Enfin, ce modèle en programmation mathématique est pour le moment un modèle de recherche. Bien que nous pensions que ce modèle pourrait être un outil d'aide à la décision intéressant pour les conseillers technico-économiques des éleveurs ou pour les décideurs publics, son utilisation est pour le moment un peu difficile. L'interface est en effet peu conviviale et les temps de calculs sont longs. Cependant, dans le cadre de l'Unité Mixte Technologique « Productions Allaitantes et Systèmes Fourragers » rassemblant du personnel de l'Institut de l'Élevage et de l'INRA, les possibilités de simplification du modèle ou de son intégration dans d'autres outils devront être discutées.

---

## *Références Bibliographiques*

---



- AGABRIEL J., PETIT M., 1987. Recommandations alimentaires pour les vaches allaitantes. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix INRA., 70, 153-166.
- AGABRIEL, A., PETIT, M. (1993). État corporel des vaches allaitantes charolaises : signification utilisation pratique et relations avec la reproduction. INRA Production Animale, 6 (5) : 311-318
- AGABRIEL J., LASSALAS J., (2001). Ingestion de foin par des vaches Charolaises selon leur état d'engraissement. Rencontres Recherches Ruminants. 8, 302.
- AGRESTE PRIMEUR, (2002), Une présence essentielle dans les zones de montagne 78 000 éleveurs spécialisés dans la viande bovin. Agreste Primeur, 110
- ALARY, V. (2000). Les cacaoculteurs camerounais face aux risques: essai de modélisation. L'harmattan, Paris
- ANDERSON, J. R. AND DILLON, J. L. (1992). Risk Analysis in Dryland Farming Systems. Farming Systems Management Series,2. Rome: FAO.
- ANDREWS A.C., WRIGHT R., SIMPSON P.G., JESSOP R., REEVES S., WHEELER J., (1991). Evaluation of new cultivars of triticale as dual-purpose forage and grain crops. Australian Journal of Experimental Agriculture, 31: 769-775.
- ANDRIEU J., BÉRANGER C., DEMARQUILLY C., DULPHY JP., GEAY Y., HODEN A., JOURNET M., JARRIGE R., LIÉNARD G., PETIT M., THÉRIEZ M., THIVEND P. (1976). Adaptation des ruminants en période de pénurie fourragère. Bull Tech CRZV Theix INRA, 25, 65-89.
- ANTLE, J.M., (1983a), Sequential Decision Making in Production Models, American Journal of Agricultural Economics, 65: 282-90
- ANTLE, J.M., (1983b), Testing the Stochastic Structure of Production: a Flexible Moment-Based Approach, Journal of Business and economic statistics, 1 (3) : 192-201
- ANTLE, J.M., (1983c). Incorporating risk in production analysis. American Journal of Agricultural Economics, 65(5) : 1099-1106
- APLAND, J., HAUER, G. (1993). Discrete stochastic Programming: Concepts, Examples and a Review of Empirical Applications. Staff Paper P93-21, Department of Agricultural and Applied Economics, University of Minnesota.
- BABUSIAUX, C., (2000). L'assurance récolte et la protection contre les risques en agriculture. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, ministère de l'agriculture et de la pêche. [http://agriculture.gouv.fr/sections/publications/rapports/l-assurance-recolte-et-la-protection-contre-les-risques-en-agriculture/downloadFile/FichierAttache\\_1\\_f0/rapportbabuziaux-0.pdf?nocache=1134040585.85](http://agriculture.gouv.fr/sections/publications/rapports/l-assurance-recolte-et-la-protection-contre-les-risques-en-agriculture/downloadFile/FichierAttache_1_f0/rapportbabuziaux-0.pdf?nocache=1134040585.85)
- BARBIER, B., BERGERON, G., (1999). Impact of policy interventions on land management in Honduras: results of a bio-economic model, Agricultural Systems, 60: 1-16
- BAR-SHIRA, Z., JUST R.E, D. ZILBERMAN. (1997). Estimation of Farmers' Risk Attitude: An Econometric Approach. Agricultural Economics, 17: 211-222
- BÉBIN D., LHERM M., LIÉNARD G., 1995. Quels résultats techniques et économiques en grands troupeaux de vaches allaitantes ? Le cas du charolais. INRA Prod. Anim., 8(3), 213-225
- BELHOUCLETTE, A., BLANCO, M., FLICHTMAN, G. (2004), Targeting sustainability of agricultural systems in the Cebalat district in Northern Tunisia, 13ème conférence EAERE, Budapest, 25-28 juin
- BELLMAN, R.E. (1957). Dynamic Programming. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- BLANC, F., BOCQUIER, F., NEBUS, N., AGABRIEL, J., D'HOOR, P., CHILLIARD, Y., (2004). La pérennité et la durabilité des

- élevages de ruminants dépendent des capacités adaptatives des femelles, INRA Production Animale, 17(4) : 297-302
- BLANC F., AGABRIEL J., (2008). Modelling the reproductive efficiency in a beef cow herd: effect of calving date, bull exposure and body condition at calving on the calving-conception interval and calving distribution. *Journal of Agricultural Science Cambridge* 146, 143-161.
- BLANCO, M., FLICHTMAN, G., (2002). Dynamic optimisation problems : different resolution methods regarding agriculture and natural resource economics, working paper disponible en ligne: [http://www.iamm.fr/bn/pdf/publi/flichtman-2002-dyn\\_opti.pdf](http://www.iamm.fr/bn/pdf/publi/flichtman-2002-dyn_opti.pdf)
- BORZEIX, V., (2002). La réforme de la PAC de 1992 : bilan d'une décennie d'adaptation des élevages bovins viande, *Notes et Études Économiques*, 16 : 81-116  
<http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/nee020416A4.pdf> (2008)
- BOYARD, C., BARNOUIN, J., GASQUI, P., VOURC'H, G. (2007). Local environmental factors characterizing *Ixodes ricinus* nymph abundance in grazed permanent pastures for cattle. *Parasitology*, 134 (7) : 987-994
- BOYER, P. (2008). Assurer les calamités agricoles ? *Notes et Etudes Economiques*, 30: 7-32
- CHATELLIER, V., VÉRITÉ, R., (2003). L'élevage bovin et l'environnement en France : le diagnostic justifie-t-il des alternatives techniques ?, *INRA Productions Animales*, 16, 231-249
- CHAVAS, JP, HOLT, MT, (1990). Acreage decision under risk: the case of corn and soybeans, *American Journal of Agricultural Economics*, 72: 529-538
- CHAVAS, JP, HOLT, MT, (1996). Economic behaviour under uncertainty: a joint analysis of risk preferences and technology, *Review of Economics and Statistics*, 78 (2) : 329-335
- CHEN, CC. CHANG, CC., (2005) The impact of weather on crop yield distribution in Taiwan : some new evidence from panel data models and implications for crop insurance, *Agricultural Economics*. 33 : 503-511
- CHÉNAIS F., LE GALL A., LEGARTO J., KEROUANTON J., (1997). Place du maïs et de la prairie dans les systèmes fourragers laitiers. I- l'ensilage du maïs dans le système d'alimentation. *Fourrages*, 150 : 123-136.
- COCKS K. D. (1968). *Discrete Stochastic Programming. Management. Science*, 15: 72-79.
- COLENO, F.C., DURU, M., SOLER, L.G., (2002). A simulation model of a dairy forage system to evaluate feeding management strategies with spring rotational grazing, *Grass and Forage Science*. 57: 312-321
- CORDIER, J. (2008). La gestion des risques en agriculture de la théorie à la mise en oeuvre : éléments de réflexion pour l'action publique, *Notes et Etudes Economiques*, 30 : 33-71,  
<http://agriculture.gouv.fr/sections/mediatheque/periodiques/notes-et-etudes-economiques>
- CROSSON, P. O'KIELY, P., O'MARA, F.P., WALLACE, M, (2006). The development of a mathematical model to investigate irish beef production systems. *Agricultural Systems* 89, (2/3), 349-370
- D'HOOR, P., REVILLA, R., WRIGHT, I.A. (1998). Adaptations possibles de la conduite du troupeau allaitant aux situations extensives, *INRA production animale*, 11 : 379-386
- DAY R.H. (1961). *Recursive Programming and Supply Predictions*. In E.D. Heady et al., (eds.): *Agricultural Supply Functions*, Iowa State University Press, Ames, Iowa, pp. 108-125.
- DE WIT, C.T., VAN KEULEN, H., SELIGMAN, G.N., SPHARIM, I. (1980). Application of interactive multiple goal programming techniques for analysis and planning of regional agricultural development. *Agricultural Systems*, 26 : 211-230
- DI FALCO, S., CHAVAS, J.P., SMALE, M. (2006). Farmer management of production risk on degraded lands : the role of

- wheat genetic diversity in tigray region, ethiopia, ept discussion paper 153  
<http://www.ifpri.org/divs/eptd/dp/papers/eptdp153.pdf>
- DIAZ-SOLIS, H., KOTHMANN, M.M., GRANT, W.E., DE LUNA-VILLARREAL, R. (2005). Application of a simple ecological sustainability simulator (SESS) as a management tool in the semi-arid rangelands of northeastern Mexico. *Agricultural Systems*. 88(2-3), 514-527
- DUMONT, B., FARRUGGIA, A., GAREL, J.P. (2007). Pâturage et biodiversité des prairies permanentes, 14ème Rencontres Recherches Ruminants (Paris, 5-6 Décembre) : 17-24.
- DUSSOL A.M., (2003). Le Bassin charolais, une zone emblématique de l'élevage bovin allaitant. *Agreste Cahiers n° 3 - Juillet 2003*
- ETHRIDGE, D.E., ZHANG, P., DAHL, B.E., ERVIN, R.T., RUSHMEZA, J. (1990). Cattle ranching production and marketing strategies under combined price and weather Risks. *Western Journal of Agricultural Economics*, 15(2) 175-185
- FAO (2006). Livestock's long shadow: environmental issues and options. *Environment and Development*  
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0701e/a0701e.pdf> (2008)
- FLICHMAN G., JACQUET, F., (2003). Le couplage des modèles agronomiques et économiques : intérêt pour l'analyse des politiques. *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales*, 67: 51-69.
- FREUND R.J. (1956). The introduction of risk into a programming model, *Econometrica*, 21 : 253-63
- GILLARD, P., MONYPENNY, R. (1990). A Decision Support Model to Evaluate the Effects of Drought and Stocking Rate on Beef Cattle Properties in Northern Australia, *Agricultural Systems*, 34 : 37-52
- GRIFFITH W.E., ANDERSON J.R. (1982), Using time series and cross section data to estimate a production function with positive and negative marginal risks. *Journal of American Statistical Association*. 77(379), pp 589-536
- GROOM, B., P. KOUNDOURI, C. NAUGES AND A. THOMAS. (2008). The Story of the Moment: Risk Averse Cypriot Farmers Respond to Drought Management. *Applied Economics* 40:315-326.
- GUESDON J-C., CHATELLIER V., MOTTET A., PFLIMLIN A. (2006). La localisation du cheptel des herbivores dans les régions européennes. 13ème Rencontres Recherches Ruminants (Paris, 6-7 Décembre), p. 17-24.
- GUIMET J. (2004). Les conséquences économiques et sociales des crises agricoles. *Notes d'IENA (Informations du Conseil Economique et Social)*, n°188, 4 pages.  
<http://www.conseil-economique-et-social.fr/presidence/publication/PU04-188.pdf> (2008)
- GUYOMARD H. (sous la direction de), LE MOUËL C. (sous la direction de), JEZ C., FORSLUND A., FOURNEL E., (2007). Prospective. « agriculture 2013 »,  
[http://www.inra.fr/agriculture2013/prospective/prospective\\_agriculture\\_2013](http://www.inra.fr/agriculture2013/prospective/prospective_agriculture_2013)
- HARDAKER, J. B. M. HUIRNE, R. B. ANDERSON J. R., LIEN, G. (2004). *Coping with Risk in Agriculture*, 2nd Edition. CABI Publishing, Wallingford, UK
- HAVLÍK P., VEYSSET P., BOISSON J.M., LHERM M., JACQUET F., (2005). Joint production under uncertainty and multifunctionality of agriculture: policy considerations and applied analysis, *European Review of Agricultural Economics*, 32 (4), 489-515
- HAZELL, P. NORTON, R. (1986). *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. McMillan (eds), 400 p.
- HENNESSY, D.A. (1998). "The Production Effects of Agricultural Income Support Policies under Uncertainty." *American Journal of Agricultural Economics* 80:46-57.
- HOCH T., BEGON C., CASSAR-MALEK I., PICARD B., SAVARY-AUZÉLOUX I., (2003). Mécanismes et conséquences de la

- croissance compensatrice chez les ruminants. INRA Production Animale. 16, 49-59.
- IGLESIAS, E., GARRIDO, A., GOMEZ-RAMOS, A., (2003). Evaluation of drought management in irrigated areas, *Agricultural Economics.*, 29, 211-229
- INGRAND, S., BARDEY, H., BROSSIER, J. (2004). Transformation des pratiques techniques et flexibilité des systèmes d'élevage in Transformation des pratiques techniques et flexibilité des systèmes d'élevage, Chia, Dedieu, B., Moulin, C-H., Tichit eds
- INRA (2007). Alimentation des bovins, ovins et caprins, eds QUAE
- INSTITUT DE L'ÉLEVAGE, (2000). L'élevage bovin, ovin et caprin –lait et viande- au recensement agricole de 2000, [http://www.inst-elevage.asso.fr/html/spip.php?page=article\\_espace&id\\_espace=33&id\\_article=779](http://www.inst-elevage.asso.fr/html/spip.php?page=article_espace&id_espace=33&id_article=779)
- ISIK, M., (2002). Resource management under production and output price uncertainty : implications for environmental policy, *American Journal of Agricultural Economics*, 84 (3) : 557-571
- ISIK, M., DEVADOSS, S., (2006). An analysis of the impact of climate change on crop yields and yield variability, *Applied Economics*, 38: 835-844
- JACQUET, F., PLUVINAGE, J., (1997). Climatic Uncertainty and Farm Policy: A Discrete Stochastic Programming Model for Cereal-Livestock Farms in Algeria, *Agricultural Systems* 53, 387-407
- JAMBOU, M. MORDANT J., PORRY, J-L. (2001). « Quel avenir pour l'élevage allaitant », ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Comité permanent de coordination des inspections, 66 pages. [http://agriculture.gouv.fr/sections/publications/rapports/quel-avenir-pour-l-elevage-allaitant/downloadFile/FichierAttache\\_1\\_f0/rapportmordant-0.pdf?nocache=1134040585.85](http://agriculture.gouv.fr/sections/publications/rapports/quel-avenir-pour-l-elevage-allaitant/downloadFile/FichierAttache_1_f0/rapportmordant-0.pdf?nocache=1134040585.85) (2008)
- 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
- JOUVEN, M., BAUMONT, R., (2008). Simulating grassland utilisation in beef suckler systems to investigate the trade offs between production and floristic diversity, *Agricultural Systems*, 96: 260-272
- JUST, R.E, POPE, R.D., (1978). Stochastic specification of Production Functions and economic implications, *Journal of Econometrics*, 7(2) : 276-284
- JUST, R.E, POPE, R.D., (1979). Production Function Estimation and related Risk Considerations, *American Journal of Agricultural Economics*, 61 : 67-86
- KIM, K. CHAVAS, J.P., (2003). Technological change and risk management: an application to the economics of corn production, *Agricultural Economics*. 29 : 125-142
- KINGWELL, R.S, PANNELL, D.J., ROBINSON, S.D., (1993). Tactical responses to seasonal conditions in whole farm planning in western Australia. *Agricultural Economics*, 8, 211-226
- KOBAYASHI, M., HOWITT, R.E, JARVIS, L.S, LACA, E.A., (2007). Stochastic rangeland use under capital constraints, *American Journal of Agricultural Economics*, 89 (3), 205-817
- KUMBHAKAR, S.C., TVETERAS, R. (2003). Risk Preferences, Production Risk and Firm Heterogeneity. *Scandinavian Journal of Economics* 105 (2): 275-293.
- LAMBERT, D.K., MCCARL, B.A. (1985). Risk modelling using direct solution of nonlinear approximations of the utility function. *American Journal of Agricultural Economics*, 21: 73-93
- LAMBERT, D.K. (1989). Calf retention and production decisions over time. *Western Journal of Agricultural Economics*, 14(1) 9
- LE GALL A., DELATTRE J.C., CABON G., (1998). Les céréales immatures et la paille : une assurance pour les

- systèmesfourragers. Fourrages, 156 : 557-572.
- LE GOFFE, P., (2003). Multifonctionnalité des prairies : comment articuler marché et politiques publiques?, INRA Production Animale, 16 : 175-182
- LEATHERS, H.D. AND QUIGGIN J.C. (1991). Interaction between Agricultural and Resource Policy: The Importance of Attitudes toward Risk. American Journal of Agricultural Economics, 73, 758-764.
- LEMAIRE G., CHARRIER X., HÉBERT Y., (1996). Nitrogen uptake capacities of maize and sorghum crops in different nitrogen and water supply conditions. Agronomie, 16: 231-246.
- LEMAIRE,G., DELABY, L., FIORELLI, J.L., MICOL, D., (2006a). Adaptations agronomiques au risque de sécheresse : Systèmes fourragers et élevage, in Rapport d'Expertise INRA Sécheresse et Agriculture (2006) Sécheresse et agriculture : réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. 379 pages. [http://www.inra.fr/l\\_institut/expertise/expertises\\_realisees/secheresse\\_et\\_agriculture\\_rapport\\_d\\_expertise](http://www.inra.fr/l_institut/expertise/expertises_realisees/secheresse_et_agriculture_rapport_d_expertise)
- LEMAIRE, G., MICOL, D., DELABY, L., FIORELLI, J.L., DURU, M., RUGET, F. (2006b). Sensibilité à la sécheresse des systèmes fourragers et de l'élevage des herbivores, in Rapport d'Expertise INRA Sécheresse et Agriculture (2006) Sécheresse et agriculture : réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. 379 pages. [http://www.inra.fr/l\\_institut/expertise/expertises\\_realisees/secheresse\\_et\\_agriculture\\_rapport\\_d\\_expertise](http://www.inra.fr/l_institut/expertise/expertises_realisees/secheresse_et_agriculture_rapport_d_expertise)
- LHERM, M., BENOIT, M. (2003). Autonomie alimentaire des exploitations herbagères d'élevage allaitant et impacts économiques. Fourrages, 176, pp 411- 424
- LIEN, G., HARDAKER, J.B., (2001). Whole-farm planning under uncertainty: impacts of. subsidy scheme and utility function on portfolio choice in Norwegian agriculture, European Review of Agricultural Economics,, 28 (1) : 17-36
- LIÉNARD G., LHERM M., (1986). Bases économiques du choix d'un type de production de viande bovine. Cas des troupeaux allaitants. Production de viande bovine : 273
- LIÉNARD G., LHERM M., PIZAINÉ, M.C., LE MARÉCHAL, J.Y., BOUSSANGE, B., BELARD J.F., (2002). Adaptation des élevages de bovins allaitants. Références sur 10 ans (1989-1999). d'un groupe d'éleveurs du Limousin, INRA Productions Animales 15 : 273-291
- LIÉNARD, G., LHERM, M., BÉBIN D. (1996). Les exploitations d'élevage bovin allaitant en zones défavorisées : évolution, questions. Analyse à partir d'un échantillon d'exploitations charolaises de grande dimension, INRA Production Animale, 9 (4), 285
- LINS, D. A., GABRIEL, S. C. AND SONKA, S. T. (1981). An analysis of the risk aversion of farm operators: an asset portfolio approach. Western Journal of Agricultural Economics, 6:15–29.
- LITTEL, R.C., HENRY, P.R., AMMERMAN. (1998), Statistical Analysis of repeated measures Data using SAS procedures. Journal of Animal Science 76:1216-1231
- LITTEL, R.C., MILIKEN, G.A., STROUP, W.W., WOLFINGER, R.D. (1996). SAS System for Mixed Models, SAS institute Inc.
- LOUHICHI K. (2001). Essai de modélisation bioéconomique de la relation agriculture environnement : le cas de l'érosion en Tunisie. Thèse doctorat, Université Montpellier I : Faculté des sciences économiques, 250 p.
- LOUHICHI, K., ALARY, V., GRIMAUD, P., (2004). A dynamic model to analyse the bio-technical and socio-economic interactions in dairy farming systems on the Reunion Island, Animal Research. 53, 363-382
- LOVE, H.A, BUCCOLA, S.T., (1991). Joint risk preference technology estimation with a primal system, American Journal of Agricultural Economics, 73 (3) : 765-774

- MCCOWN, R.L., (2001). Learning to bridge the gap between science-based decision support and the practice of farming: evolution in paradigms of model-based research and intervention from design to dialogue. *Australian Journal of Agricultural Research* 52, 549–572.
- MÉNART, C. (2004). Gestion des risques climatiques en agriculture : engager une nouvelle dynamique [www.agriculture.gouv.fr/spip/IMG/pdf/risques\\_clim.230201.pdf](http://www.agriculture.gouv.fr/spip/IMG/pdf/risques_clim.230201.pdf) (2008)
- MICOL, D., PICARD, B., ORTIGUES-MARTY, I. (2002). Viandes bovines de montagne produites à base d’herbe, actes du colloque INRA-ENITAC, Clermont-Ferrand, 61-67
- MORTEMOSQUE D., (2007). Une nouvelle étape pour la diffusion de l’Assurance récolte, <http://agriculture.gouv.fr/sections/publications/rapports>
- MOSCHINI, G. AND HENNESSY, D. A. (2001). Uncertainty, risk aversion, and risk management for agricultural producers. In B. L. Gardner and G. C. Rausser (eds), *Handbook of Agricultural Economics*, Volume 1. Amsterdam: Elsevier, 88–153.
- MOXNES, E., DANELL, Ö., GAARE, E., AND KUMPULA, J. (2001). Optimal strategies for the use of reindeer rangelands. *Ecological Modelling* 145 (2-3): 225-241
- NERLOVE, M., BESSLER, D.A., (2001). Expectations, Information and Dynamics, In: Gardner and G.C. Rausser, (eds) *Handbook of Agricultural Economics*, volume 1A B.L. North Holland, pp 155-201
- NORMAND, J., (2006). Caractérisation technique du troupeau allaitant, [http://www.inst-elevage.asso.fr/html1/IMG/pdf/3788-Characterisation\\_techn\\_troupeau\\_allaitant.pdf](http://www.inst-elevage.asso.fr/html1/IMG/pdf/3788-Characterisation_techn_troupeau_allaitant.pdf) (2008)
- OLSON, K.D., MIKESELL, C.L., (1988). The range stocking decision and stochastic forage production, staff paper p988-16 of university of Minnesota Department of Applied Economics. 18 pages. <http://purl.umn.edu/13502>
- PANNELL, D.J., MALCOLM, B., KINGWELL, R.S., (2000). Are we risking too much? Perspectives on risk in farm modelling, *Agr. Econ.*, 23, 69-78
- PFLIMLIN, A., (1997). Sécheresse, gérer les risques, analyse sur deux décennies, méthodes et exemples de scénarios d’adaptation par grandes zones d’élevage, dossier spécial de l’institut de l’élevage, <http://www.inst-elevage.asso.fr/html1/IMG/pdf/935-Secheresse.pdf> (2008)
- POTTIER E., D’HOUR P., HAVET A., PELLETIER P. (2001). Allongement de la saison de pâturage pour les troupeaux allaitants. *Fourrages*, 167 : 287-310
- POTTIER E., DELABY L., J. AGABRIEL J. (2007). Adaptations de la conduite des troupeaux bovins et ovins aux risques de sécheresse. *Fourrages*, 191, 267- 284.
- RAE, A.N. (1971a). Stochastic programming, utility, and sequential decision problems in farm management. *American Journal of Agricultural Economics*, 53, pp. 448-460.
- RAMASWANI B. (1992). Production risk and optimal input decisions. *American Journal of Agricultural Economics* 74 : 860-869.
- RASKIN, R. AND M.J. COCHRAN. (1986). Interpretations and Transformations of Scale for the Arrow-Pratt Absolute Risk Aversion Coefficient: Implications for Generalized Stochastic Dominance. *Western Journal of Agricultural Economics* 11(2) : 204-210.
- RAT-ASPERT, O, PETIT, E., FOURICHON, C. (2008). La maîtrise collective de la santé animale à l’épreuve des choix individuels : approche théorique de la décision de vaccination des animaux. *Renc. Rech. Ruminants*, *in press*
- RAWLINS, R.B., BERNARDO, J. (1991). Incorporating uncertainty in the analysis of optimal beef forage production systems, *Southern Journal of Agricultural Economics*, Jul, 213-226.

- REHMAN, T., ROMERO, C., (1993). The application of the MCDM paradigm to the management of agricultural systems: some basic considerations. *Agricultural Systems* 41, 239–255.
- RÉSEAU D'ÉLEVAGE CHAROLAIS, (2007). 1992-2005 : 40 exploitations, 14 années d'adaptation, Analyse et réflexions, , [http://www.inst-elevage.asso.fr/html1/IMG/pdf\\_CR\\_090754016](http://www.inst-elevage.asso.fr/html1/IMG/pdf_CR_090754016)
- RÉSEAUX D'ÉLEVAGE CHAROLAIS, (2003). Bassin charolais, Sècheresse : des pistes pour agir en fonction de sa situation, 1er juillet, <http://www.inst-elevage.asso.fr/html1/IMG/pdf/Secheresse-Bassin-Charolais-2003.pdf>
- RICA (2008). <http://agreste.maapar.lbn.fr/ReportFolders/ReportFolders.aspx>
- RIDIER A. (2001). Changements de politique agricole et décisions des producteurs de viande bovine face au risque de marché : application dans deux régions françaises. Thèse de doctorat de l'ENSA de Montpellier, 440 pages.
- ROMERA, A. J., MORRIS, S. T., HODGSON, J., STIRLING, W. D., WOODWARD, S. J. R. (2005). Comparison of haymaking strategies for cow-calf systems in the Salado Region of Argentina using a simulation model. 3. Exploratory risk assessment. *Grass and Forage Science*, 60(4) : 417-422
- ROUSSILON-MONTFORT, M.A. (2008). Marchés à terme agricoles en Europe et en France *Notes et Etudes Economiques*, 30 : 100-124.
- ROY, A.D. (1952). Safety-first and the holding of assets, *Econometrica*, 20: 431-449
- RUGET (2006). IN Rapport d'Expertise INRA Sécheresse et Agriculture (2006) Sécheresse et agriculture : réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. 379 pages. [http://www.inra.fr/l\\_institut/expertise/expertises\\_realisees/secheresse\\_et\\_agriculture\\_rapport\\_d\\_expertise](http://www.inra.fr/l_institut/expertise/expertises_realisees/secheresse_et_agriculture_rapport_d_expertise)
- SADDIER, M., SIMON, Y. (2005). Pour une amélioration de la gestion des risques et des crises agricoles, Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 66 pages.
- SAF-AGRICULTEURS DE FRANCE, (2002), Quelle gestion des risques agricoles en 2010-2015 ?, <http://www.agriculteursdefrance.com/fr/etudesetpropositions.asp> (2008)
- SAHA, A., R. SHUMWAY AND H. TALPAZ. (1994). Joint Estimation of Risk Preference Structure and Technology using Expo-Power Utility. *American Journal of Agricultural Economics* 76: 173-184.
- SHANKAR,B. AND C.H. NELSON. (2003). A Simple Approach to Stochastic Technology Estimation using Farm Level Data. University of Reading working paper.
- SOUSSANA J.F., LOISEAU P., VUICHARD N., CESCHIA E., BALESSENT J., CHEVALLIER T., ARROUAYS D. (2004). Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use and Management*, 20: 219
- STRAËBLER M., LE GALL A., (1993). Luzerne sorgho et betterave. Trois cultures fourragères sécurisantes en conditions sèches ou froides. *Fourrages*, 156: 573-587.
- SULLIVAN, G.M., CARTRWRIGHT, T.C. DE FARRIS, (1981). Simulation of Production Systems in East Africa by Use of Interfaced Forage and Cattle Models, *Agricultural Systems* 7: 245-265
- THOMSON, A.R., HERRMANN, R., GOHOUT, W. (2000). Agricultural market liberalization and instability of domestic agricultural markets: the case of the CAP. *American Journal of Agricultural Economics*. 82: 718-726
- VEYSSET P., BÉBIN D., LHERM M., (2007). Impacts de la sécheresse 2003 sur les résultats technico-économiques en élevage bovin allaitant Charolais. *Fourrages*, 191: 311-322.
- VEYSSET P., GASQUI P., LHERM M., BÉBIN D., (1999). Déterminants du revenu par travailleur des exploitations d'élevage bovin allaitant. Analyse en composantes principales à partir d'un échantillon de 64 exploitations

- charolaises du Nord Massif Central, *Rencontre Recherche Ruminants*, 6: 23-26
- VEYSSET P., LHERM M., BÉBIN D. (2002). Conséquences de la crise bovine en 2001 sur les résultats économiques des exploitations d'élevage bovin allaitant charolais. *Rencontre Recherche Ruminants* 9: 177-180.
- VEYSSET P., LHERM M., BEBIN D., (2004). Performances technico-économiques sur les grands troupeaux bovins allaitants : le cas du Charolais. *Rencontre Recherche Ruminants*, 11: 141-144.
- VEYSSET P., LHERM M., BÉBIN D., (2005). Évolutions, dispersions et déterminants du revenu en élevage bovin allaitant charolais. Étude sur 15 ans (1989-2003) à partir d'un échantillon constant de 69 exploitations, *INRA Production Animale*, 18(4): 265-275.
- VEYSSET, P., BEBIN, D., LHERM, M., (2005a). Adaptation to Agenda 2000 (CAP reform) and optimisation of the farming system of French suckler cattle farms in the Charolais area: a model based study, *Agricultural Systems.*, 83: 179-202
- WALLACE, M.T., MOSS, J.E. (2002). Farmer Decision-Making with Conflicting Goals: A Recursive Strategic programming analysis, *Journal of Agricultural Economics*, 53 (1): 82-100

---

*Tables des figures et des tableaux*

---



## Table des figures

Figure 1: Exemple de cycle de production de la vache allaitante .....	2
Figure 2 : Un cheptel allaitant qui arrive au niveau du cheptel laitier.....	4
Figure 3: Les exportations de bovins .....	4
Figure 4: Nombre vache allaitante en 2003 par km <sup>2</sup> .....	4
Figure 5 : Effectif de vaches allaitantes par canton en 2000.....	5
Figure 6 : Effectifs des principales races dans les élevages spécialisés en viande bovine.....	5
Figure 7 : Part des élevages spécialisés en viande bovine dans la dimension économique par commune en 2000 .....	6
Figure 8 : Part de la SFP dans la SAU en 2000.....	6
Figure 9 : Les acteurs de la gestion des risques.....	8
Figure 10 : Évolution du revenu (RWC) et des aides par travailleur (UTH) en élevage de bovin allaitant .....	9
Figure 11 : Montant total des indemnités du FNGCA sur 1980-2005 par département en million d'euros constants .....	13
Figure 12 : Attitudes vis-à-vis des risques et forme de la fonction d'utilité.....	17
Figure 15 : La programmation mathématique définit quelles sont les décisions optimales pour une période donnée .....	22
Figure 16 : Exemple de processus décisionnel avec deux périodes et un risque.....	23
Figure 17 : Exemple de processus décisionnel avec un risque 'encastré' .....	25
Figure 18 : Une suite récursive d'optimisations multi périodiques.....	28
Figure 19 : Principe de résolution du modèle en programmation dynamique stochastique.....	29
Figure 20 : Schématisation de la démarche adoptée .....	33
Figure 21 : Organisation du manuscrit de thèse .....	36
Figure 22: Les trois zones dans le Bassin charolais .....	39
Figure 23 : Répartition de la SAU de notre échantillon entre les différentes cultures en 2006 .....	40
Figure 24 : Répartition des ventes selon le type d'animaux vendus en 2006.....	41
Figure 25 : Variations interannuelles centrées-réduites des rendements des cultures et des prix de la viande bovine .....	44
Figure 26 : Indicateur des variations interannuelles moyennes de rendement de la SFP par département selon les classes .....	44
Figure 27 : Indicateur des variations interannuelles moyennes du prix de bovins par exploitation selon les classes .....	44
Figure 28 : Évolution des variables zootechniques sur la période 1987-2007 selon les orientations de production.....	47
Figure 29 : Évolution des variables de la part des surfaces récoltées (a) et des applications azotées (b) sur la période 1987-2007 selon les orientations de production .....	49

Figure 30 : Évolutions de la taille du troupeau (a) et de la surface par exploitation (b) entre 1987 et 2007, selon les orientations de production .....	50
Figure 31 : Évolutions moyennes des recettes(a) et des charges (b) sur l'ensemble de l'échantillon...	52
Figure 32 : Variations interannuelles des quantités de viandes produites (a) et vendues (b) et de la part des génisses engraisées (c) superposées aux aléas de prix des bovins .....	53
Figure 33 : Variations interannuelles de l'alimentation des animaux (a,b) et des surfaces fauchées (c) superposées aux aléas de rendement des prairies, selon les orientations de production .....	55
Figure 34 : Variations des recettes bovines (a), des charges du troupeau (b) et le marge brute globale (c) superposées aux aléas sur les rendements fourragers et sur les prix des bovins.....	58
Figure 35 : Variations du profit en fonction de l'intensité des aléas, simulées dans la partie 3.1.....	164

## Table des tableaux

Tableau 1 : Revenu courant avant impôt par travailleur non salarié selon les OTEX (en k€/an/UTA) ..	3
Tableau 2: Poids des principaux pays dans la production communautaire (UE-25) de viande en 2005	4
Tableau 3 : Recette des produits végétaux et principaux postes de dépense selon les orientations de production, exprimés en pourcentage du produit brut animal. ....	10
Tableau 4 : Principales caractéristiques des modèles en programmation mathématique appliqués à l'élevage d'herbivores .....	24
Tableau 5 : Principales caractéristiques des modèles DSP d'élevage d'herbivores .....	26
Tableau 6 : Principales caractéristiques des modèles en programmation dynamique stochastique appliquée à l'élevage d'herbivores.....	30
Tableau 7: Comparaison des caractéristiques de l'échantillon et de l'OTEX 42 du RICA pour l'année 2006.....	40
Tableau 8 : Résultats de la CAH .....	41
Tableau 9: Ventilation des effectifs en fonction des départements .....	42
Tableau 10 : Chargement et caractéristiques du troupeau sur la période 1987-2007 selon les orientations de production .....	46
Tableau 11: Caractéristiques du système cultural sur la période 1987-2007 selon les orientations de production.....	48
Tableau 12 : Caractéristiques structurelles sur la période 1987-2007 selon les orientations de production.....	50
Tableau 13 : Caractéristiques des résultats économiques sur la période 1987-2007 selon les orientations de production .....	51
Tableau 14 : Matrice de corrélation entre décisions de production et aléas de prix.....	52

Tableau 15 : Matrice de corrélation entre décisions de production et aléas de rendement fourrager de l'année courante et de la moyenne des variations de rendements de l'année passée et de l'année en cours ('bis').....	54
Tableau 16 : Matrice de corrélations entre variables technico-économiques, prix des bovins et rendements des cultures.....	56
Tableau 17 : Résultats de la régression multiple :.....	57
Tableau 18 : Variations interannuelles du poids des animaux (comparés aux mêmes mois) sur une simulation de 35 années climatiques (issue de la simulation du 3.2).....	154
Tableau 19 : Comparaison entre les consommations moyennes de concentré, leur variabilité et leurs corrélations observées (partie 2.1) et simulées partie (3.2).....	155
Tableau 20 : Comparaison des résultats technico-économiques des exploitations en fonction du poids initial des animaux.....	157
Tableau 21 : Corrélations entre la marge brute bovine moyenne par travailleur et les différentes variables technico-économiques.....	158
Tableau 22 : 'Primes de risque' associées en fonction du coefficient d'aversion relatif au risque.....	161
Tableau 23 : Variations des résultats économiques en fonction des variations des rendements des cultures et des prix des bovines : résultats des régressions linéaires sur données simulées et observées.....	163



---

# Annexes

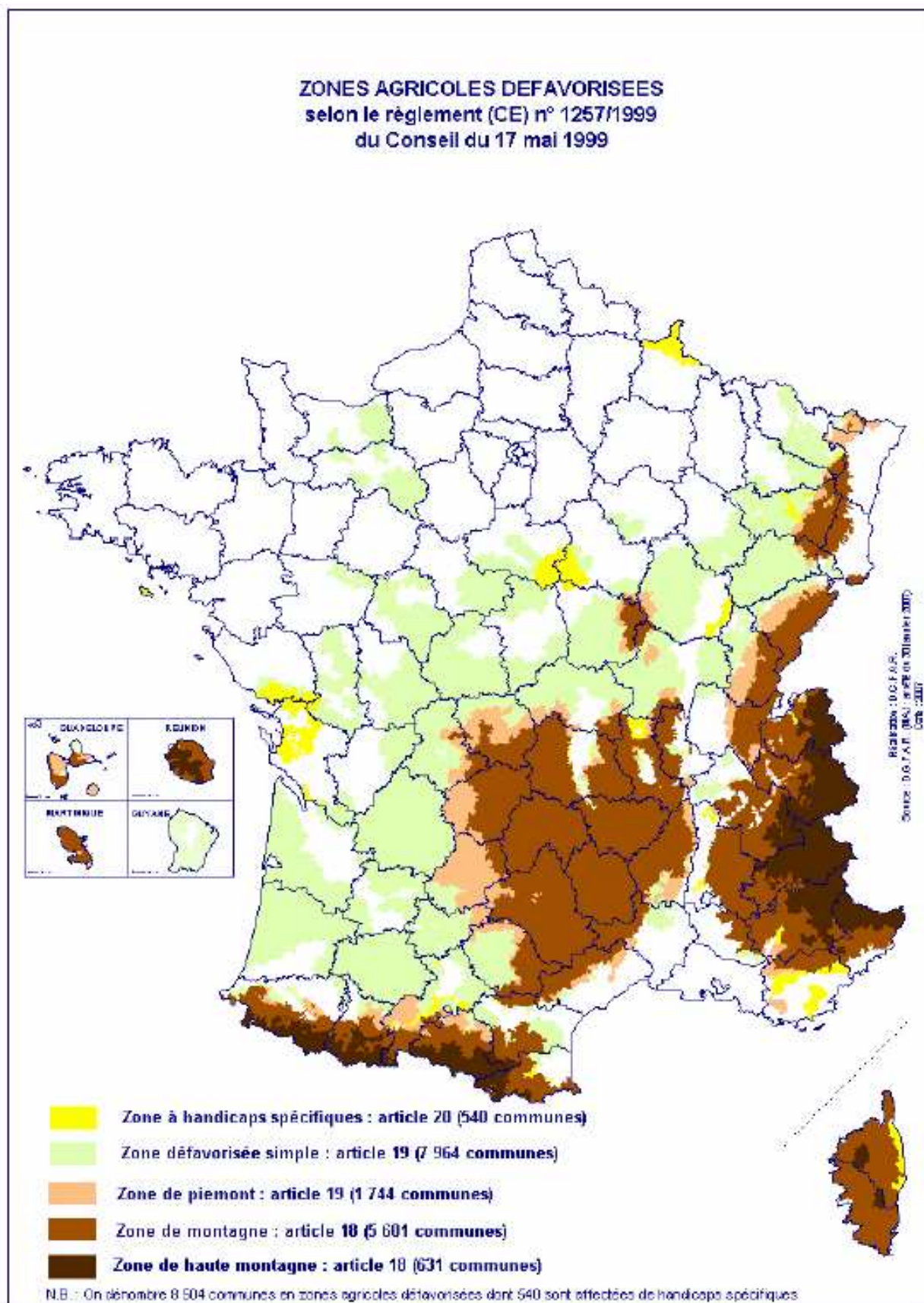
---

## Table des annexes

ANNEXE 1 : Carte des zones agricoles défavorisées (pour ICHN).....	1
ANNEXE 2 : Les primes PAC.....	3
ANNEXE 3 : Les prix des bovins.....	5
ANNEXE 4 : Climat, rendements des productions végétales et calibrage du modèle de croissance de l'herbe .....	9
ANNEXE 5: Poids des animaux .....	13
ANNEXE 6: Schéma d'ensemble des différentes composantes du modèle.....	17
ANNEXE 7: Schéma : dynamiques de la production végétale .....	18
ANNEXE 8: Schéma : dynamiques de la production animale.....	19
ANNEXE 9: Le code des programmes de l'analyse statistique du 2.1.....	21
ANNEXE 10: Programme sous SAS du modèle économétriques (partie 2.2) (extraits) .....	23
ANNEXE 11: Programme sous Gams du modèle d'exploitation en programmation mathématique (extraits).....	29
▪ ANNEXE 12: Exemples de Publications originales dans des congrès.....	47



ANNEXE 1 : Carte des zones agricoles défavorisées (pour ICHN)



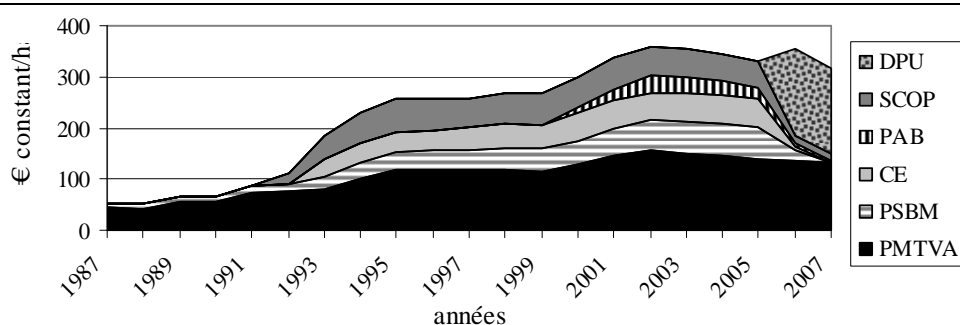


## ANNEXE 2 : Les primes PAC

*Dans cette annexe, nous présentons l'évolution des aides PAC associées à la production de viande bovine et aux grandes cultures. Les montants des primes et les conditions d'éligibilité sont détaillés pour la période 1999-2007.*

Le montant des aides directes et les modalités d'attribution des primes ont beaucoup évolué depuis la mise en place de la PAC. Avant 1992, les aides PAC reçues par les éleveurs correspondaient essentiellement aux PMTVA (Prime au Maintien des Troupeaux de Vaches allaitantes) et PSBM (Prime Spéciale pour les Bovins Mâles). En 1992, s'ajoutent à ces aides, les paiements compensatoires accordés en fonction du nombre d'hectares implantés en céréales et oléo-protéagineux (prime SCOP) sous réserve de mise en jachère une part de la SAU. En 1993, le Complément Extensif (CE), payé à la tête de bétail éligible est conditionné au niveau de chargement. Les seuils d'éligibilité ont été rabaissés en 2002 et le montant des primes augmentés. En 2000, afin d'encourager les éleveurs à finir leurs animaux, une prime à l'abattage des bovins est instaurée (PAB). Enfin, à partir de 2006, le CE et la PSBM sont totalement découplés, les primes SCOP, et la PAB sont découplées à 75% et 60%, et la PMTVA reste 100% couplée. Les montants découplés sont traduits en droits à paiements uniques (DPU) attribués aux éleveurs en fonction de leurs références historiques (i.e. des primes qu'ils ont touchées par en 2002-2003). Les paiements du 1<sup>er</sup> pilier sont modulés (de 3 à 5% des aides dues aux producteurs est retenue pour alimenter le 2<sup>nd</sup> pilier) et conditionnés aux respects des BCAE (Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales), des directives et des règlements européens. Parmi ces BCAE, figure l'interdiction de retourner les prairies permanentes sans autorisation. Sur les 65 exploitations observées extraites de la base de données du LEE (cf partie 2.1), l'évolution du montant des primes à l'hectare est donnée dans la Figure 36.

*Figure 36 : Évolution des primes PAC du 1<sup>er</sup> pilier (en € constant / ha)*



*Source : personnelle d'après les données de la base 'charolais' du LEE*

Les montants des primes qui nous ont servi à paramétrer le modèle mathématique (cf. partie 3) sont détaillés dans le (Tableau 24).

Tableau 24 : Evolution du montant des primes percevables par les éleveurs de bovins allaitants et de leurs conditions d'éligibilité

		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>Prime au Maintien des vaches Allaitantes</b>	Montant 1 pour les 40 premières vaches	171,6	200,0	232,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0
	Montant 2 pour les vaches suivantes	148,1	175,9	207,9	225,9	225,9	225,9	225,9	225,9	225,9
	Droit à primes du montant 1	40*	40*	40*	40*	40*	40*	40*	40*	40*
	Droit à primes du montant 2	40*	40*	40*	40*	40*	40*	40*	40*	40*
	Eligibilité des génisses	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
<b>Prime Spéciale au bovin male</b>	Montant par taurillon gras	132	160	185	210	210	210	210		
	Montant par bœuf gras	107	122	136	150	150	150	150		
<b>Prime à l'abattage des gros bovins</b>	montant par taurillon gras		27	53	80	80	80	80	32	32,0
	montant par boeuf gras		27	53	80	108,1	101,9	102,7	32	32,0
	montant par génisse grasse		80,3	114	141,5	119	119	119	32	32,0
	montant par vache grasse		27	53	80	108	102	103	32	32,0
<b>Complément extensif</b>	Montant 1		33	33	40	40	40	40		
	Montant 2		66	66	80	80	80	80		
	Seuil de chargement max. pour montant 1		2	2	1,8	1,8	1,8	1,8		
	Seuil de chargement max. pour montant 2		1,6	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4		
<b>Grandes cultures</b>	Rendement** de référence en tonnes/ha	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7
	Prix PAC à la tonne	63	63	63	63	63	63	63	15,8	15,8
<b>Découplage et modulation</b>	taux de modulation							3%	4%	5%
	paiement unique (k€)								26,7	26,7

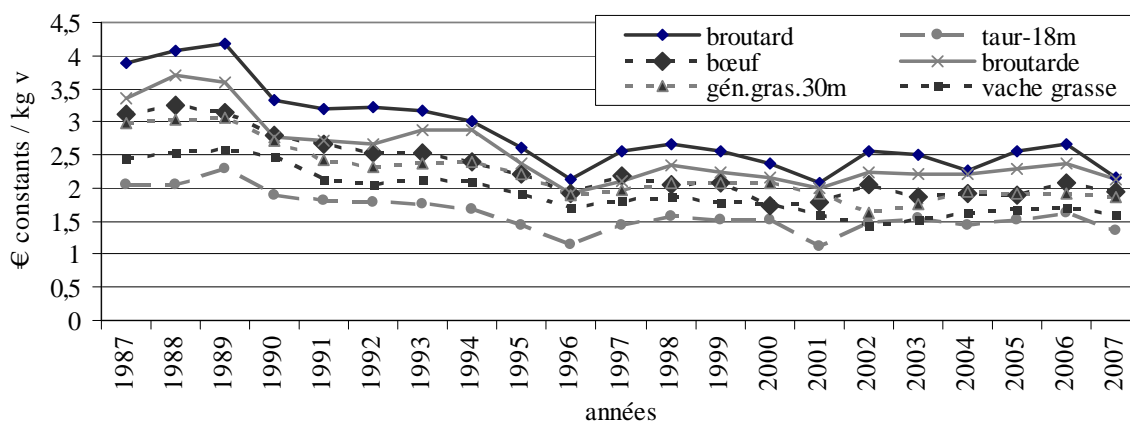
Note : \* paramètres à calibrer en fonction des caractéristiques de l'exploitation, \*\*les rendements de référence sont fixés par département et, éventuellement au sein de ces départements par petite région agricole

### ANNEXE 3 : Les prix des bovins

Dans cette annexe, nous commentons l'évolution des prix selon les différentes catégories d'animaux, nous caractérisons leur variabilité interannuelle et présentons les résultats des régressions linéaires qui nous ont permis de paramétrer le prix des animaux en fonction de leur poids théorique (cf partie 3).

Les prix moyens de la viande bovine (en euro constant) perçus par les producteurs ont connu une forte tendance à la baisse avec une chute des prix -35% en 20 ans (Figure 37). Cette baisse tendancielle est à amputer en partie aux deux épisodes de diminution du prix d'intervention : de 1992 à 1995 (-15%) et de 2000 à 2003 (-20%). La baisse du prix au kilo vif est plus marquée pour les broutards. Cela peut s'expliquer par le fait que le prix de la viande maigre diminue avec l'augmentation du poids vif total et que les broutards se sont beaucoup alourdis pendant cette période. Les périodes où les prix ont beaucoup chuté correspondent en 1990 à la chute du mur de Berlin entraînant une forte décapitalisation des troupeaux de l'Europe de l'Est, en 1996 et 2001 aux deux crises ESB, et, en 2007 à une conjoncture globalement moins favorable amplifiée par la fièvre catarrhale qui a perturbé les exportations.

Figure 37: Évolution des prix de différentes catégories d'animaux de 1987 à 2007



Source : personnelle d'après les données de la base 'charolais' du LEE

Les variations de prix des animaux au kg vif sont en moyenne de 19% sur l'ensemble de la période étudiée mais une cette variabilité englobe la tendance des prix à la baisse (Tableau 25). Sans la tendance (c'est-à-dire en prenant la variation par rapport à la moyenne mobile, cf partie 2.1), ce taux de variation diminue pour atteindre les 7%. Nous ne pouvons conclure sur la significativité des différences entre classe car les différences sont trop faibles et le nombre de données pas assez important (nous travaillons ici sur des moyennes annuelles et non sur les données individuelles de chaque exploitation).

Tableau 25: Coefficient de variation des prix de différentes catégories d'animaux

	Broutard	Taur gr.	Bœuf gr.	Broutarde	Gén. Maig.	gén gr.	vache gr.
Avec la tendance	22%	18%	21%	20%	18%	19%	18%
Sans la tendance	8%	10%	6%	8%	7%	6%	5%

Avec la tendance :  $N = 20$  et sans la tendance :  $N = 16$

coefficient de variation = écart type / moyenne

Les variations interannuelles (estimées par rapport à la moyenne mobile, cf partie 2.1, sans la tendance) sont pour la plupart très corrélées (Tableau 26). Ces corrélations apparaissent néanmoins non significatives entre les indicateurs associés aux mâles et ceux correspondant aux femelles âgées. Cela s'explique d'une part par le fait que peu d'observations sont utilisées pour établir ces corrélations (on travaille sur les moyennes par catégorie) et d'autre part par des marchés différents. Les femelles et les bœufs engraisés sont consommés en France tandis que les broutards sont exportés vers l'Italie. Les taurillons gras sont en partie exportés. Nous constatons (Figure 38) qu'il y a des effets retard entre la chute des prix des broutards et celle des vaches grasses.

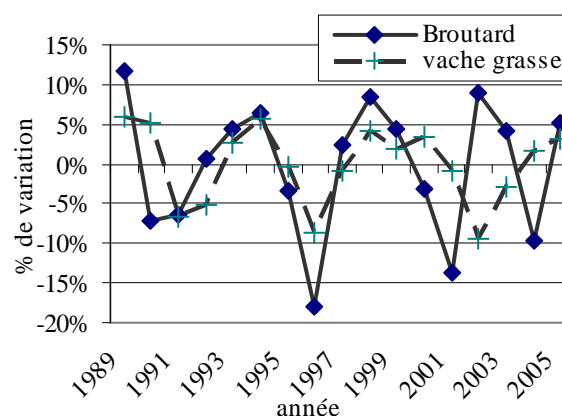
Tableau 26 : Matrice des corrélations entre les variations de prix au kg vif selon les types d'animaux

	Brout. Maig.	Taur gr.	Bœuf gr.	Gén. Broutarde maig.
Brout.				
Maig.	1,0	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>
Taur gr.	<b>0,9</b>	1,0	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>
Bœuf gr.	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>	1,0	<b>0,7</b>
Broutarde	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>	1,0
Gén. maig.	0,3	0,4	0,3	<b>0,5</b>
Gén. gr.	0,2	0,4	0,0	<b>0,5</b>
vache gr.	0,3	0,5	0,1	<b>0,5</b>

En gras, valeurs significatives au seuil  $\alpha=0,050$

Pour chaque variable :  $N=16$

Figure 38 : Variations de prix des broutards et des vaches grasses



Afin de paramétrer les prix des animaux dans le modèle d'optimisation (partie 3), nous avons réalisé une série de régressions linéaires à partir de la base de données 'charolais' entre le prix au kg et le poids des animaux vendus. Les pénalités ou au contraire les valorisations du prix au kg en fonction du poids des animaux ont été prises en compte dans l'estimation des prix en fonction du 'poids théorique'. Les résultats de ces régressions sont présentés dans le Tableau 27.

Tableau 27 : Résultats des régressions « Prix = a + b\*poids » selon les types d'animaux

a) Génisses grasses (catégories 844-847-848*)							
Données	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
N	206	254	370	301	236	248	81
a	0,90	0,75	0,22	0,63	0,86	1,14	1,33
b	0,0013	0,0014	0,0018	0,0014	0,0014	0,0010	0,0008
R <sup>2</sup>	21%	22%	33%	37%	39%	29%	33%
moyenne	1,81	1,70	1,48	1,62	1,82	1,86	1,92

b) Génisses maigres (catégories 815-821-824-841-842*)							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
N	517	530	620	590	561	609	423
a	2,13	2,13	2,32	2,45	2,41	2,53	2,62
b	-0,0005	-0,0011	-0,0012	-0,0012	-0,0010	-0,0009	-0,0011
R <sup>2</sup>	4%	22%	33%	29%	17%	16%	24%
moyenne	1,95	1,76	1,88	2,03	2,06	2,19	2,22

c) Taurillons gras (catégories 726-727-744*)							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
N	911	1039	760	797	658	682	444
a				1,45	1,27		1,82
b				0,0005	0,0007		0,0005
R <sup>2</sup>				5%	10%		4%
moyenne	1,82	1,45	1,80	1,80	1,76	1,92	2,14

d) Mâles maigres (catégories 721-715-723*)							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
N	2064	1856	2093	2113	2089	2224	2328
a	2,76	2,15	2,35	2,73	2,47	2,81	3,25
b	-0,0015	-0,0013	-0,0007	-0,0011	-0,0008	-0,0012	-0,0017
R <sup>2</sup>	18%	22%	7%	19%	13%	17%	35%
moyenne	2,11	1,58	2,09	2,27	2,14	2,32	2,52

## e) Vaches grasses

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
N	1027	1164	1360	1215	1076	1018	687
a	1,38	1,05	0,71	1,00	1,21	1,48	1,49
b	0,0004	0,0007	0,0010	0,0007	0,0006	0,0004	0,0005
R <sup>2</sup>	2%	6%	13%	13%	10%	3%	6%
Moyenne	1,68	1,60	1,42	1,53	1,65	1,78	1,86

## e) Vaches maigres

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
N	208	274	261	242	237	195	220
moyenne	1,63	1,36	1,40	1,49	1,66	1,75	1,84

## e) Bœufs gras (catégories 745-765-766-767\*)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
N	168	200	272	279	256	214	116
a	1,25		1,08	1,16	1,61	1,7638	1,82
b	0,0011		0,0009	0,0010	0,0006	0,0005	0,0006
R <sup>2</sup>	11%		6%	11%	5%	4%	4%
Moyenne	2,09	1,93	1,76	1,93	2,06	2,14	2,26

Note : N= nombre d'observation, les valeurs des coefficients a et b ne sont indiqués que s'ils sont significativement différent de 0 au seuil de 5%

\*Les libellés des codes sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 28: Libellés des codes utilisés

mâles		femelles	
CodeSortie	Libellé	CodeSortie	Libellé
715	Broutard d'Automne	815	Broutarde d'Automne
721	Broutard d'Hiver	821	Broutarde d'hiver
723	Taurillon 18 mois	824	Genisse 18 Mois
726	Taurillon 18 moisAuge	841	Genisse 21 à 24 mois
727	Taurillon 20 mois Ressorti	842	Genisse 30 Mois Vide
744	Taurillon 2 ans Auge	844	Genisse 2 ans à l'Auge
745	Bœuf 2 ans Auge	847	Genisse 30 mois à l'Herbe
746	Bœuf de 28 Mois Herbe	848	Genisse 30 mois à l'auge
747	Bœuf 30 mois à l' Herbe		
748	Bœuf 30 mois à l' Auge		
764	Male 36 à 48 mois		
765	Bœuf 3 Ans à l'Auge		
766	Bœuf >3 Ans à l' Herbe		
767	Bœuf Label		
771	Male 48 à 54 Mois		
772	Male 48 à 54 Mois		

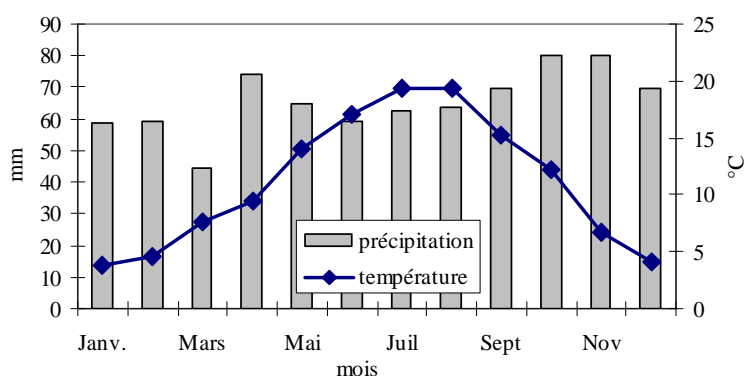
## ANNEXE 4 : Climat, rendements des productions végétales et calibrage du modèle de croissance de l'herbe

Dans cette annexe, nous commentons l'évolution des conditions climatiques et des rendements des cultures, nous caractérisons leur variabilité interannuelle et présentons le calibrage du modèle de croissance de l'herbe (cf partie 3).

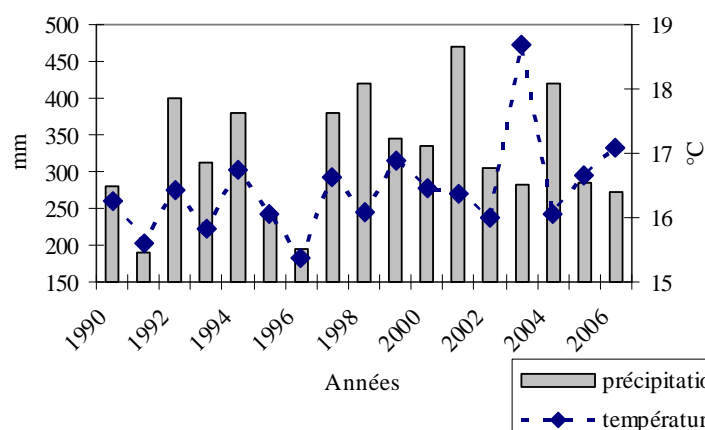
Les données climatiques ont été obtenues auprès de météo France pour la période 1990-2006. Les températures moyennes et les précipitations ont été relevées sur la station de Nevers, le rayonnement et l'évapotranspiration sont ceux observés sur la station de Decize, proche de Nevers (Nièvre). Cette région est caractérisée par des températures moyennes entre 5°C en hiver et 20°C l'été (Figure 39). L'été est un peu plus sec que le printemps et l'automne.

Figure 39 : Cumul des précipitations et température moyenne : moyennes mensuelles (a) et évolution annuelle (b) pour la station météorologique de Nevers (poste 58160001)

a) Moyenne mensuelle du cumul des précipitations et des températures moyennes sur la période 1990-2006

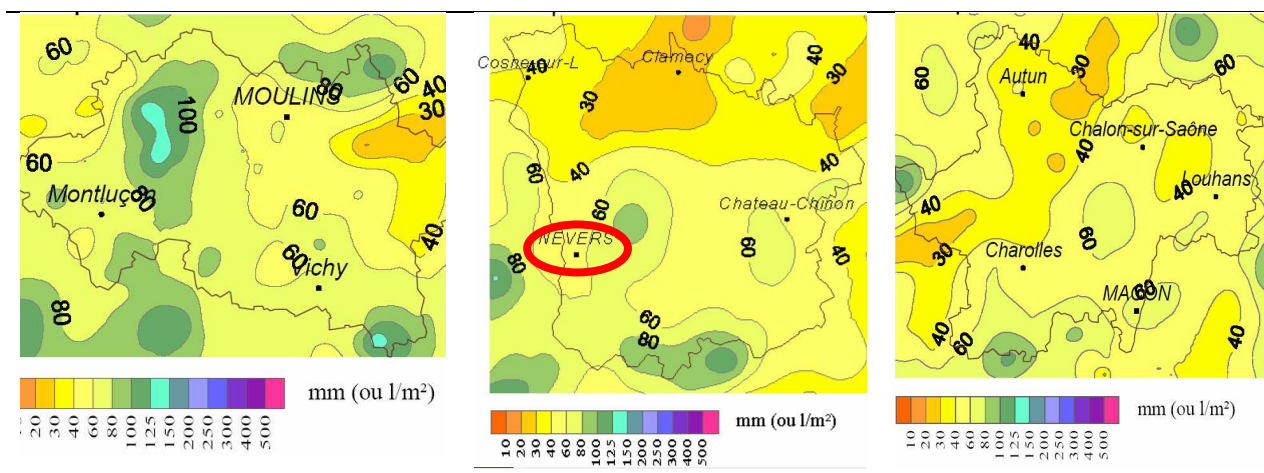


b) Evolution des températures moyennes et du cumul des précipitations sur les mois d'avril à août



Sur la période 1990-2006, l'année la plus chaude est de loin l'année 2003. Les années les plus sèches à Nevers sont 1991, 1995 et 1996. Les précipitations peuvent cependant être assez hétérogènes au niveau du bassin Charolais (les orages sont toujours assez localisés), comme cela est illustré par la Figure 40.

Figure 40 : hétérogénéité géographique des précipitations



Cumul des précipitations pour le mois d'août 2003 source : Météo France

<http://www.meteofrance.com/FR/climat/france.jsp>

Les rendements des cultures céréalières (à paille) sont particulièrement mauvais pour les années 2003 et 2007, ce qui peut s'expliquer en 2003 par un échaudage des céréales en juin lié à la canicule, et, en 2007 à la forte pluviométrie de juin-juillet qui a causé des germinations sur pied et des difficultés à récolter. En ce qui concerne les rendements des surfaces fourragères, les mauvais rendements des années 2003 et 2005 sont liés aux fortes chaleurs et au manque d'eau estival qui a grillé les prairies, les mauvais rendements de 1991 et 1996 s'expliquent par le manque d'eau (Figure 41). La variabilité interannuelle des rendements est importante (Tableau 29). Cette variabilité est particulièrement forte pour les prairies permanentes et le maïs fourrager (leur coefficient de variation avoisine les 22%). Les variations des rendements des prairies permanentes et temporaires sont très corrélées entre elles ainsi qu'avec celui du maïs fourrager (Tableau 30). Il existe une variabilité assez forte entre départements. La Creuse notamment semble avoir des variations de rendements d'amplitudes bien moindres que celles observées en Saône et Loire. La sécheresse de 2003 est ainsi peu marquée en Creuse (Figure 42).

Figure 41 : Évolution des rendements des différentes cultures dans la Nièvre

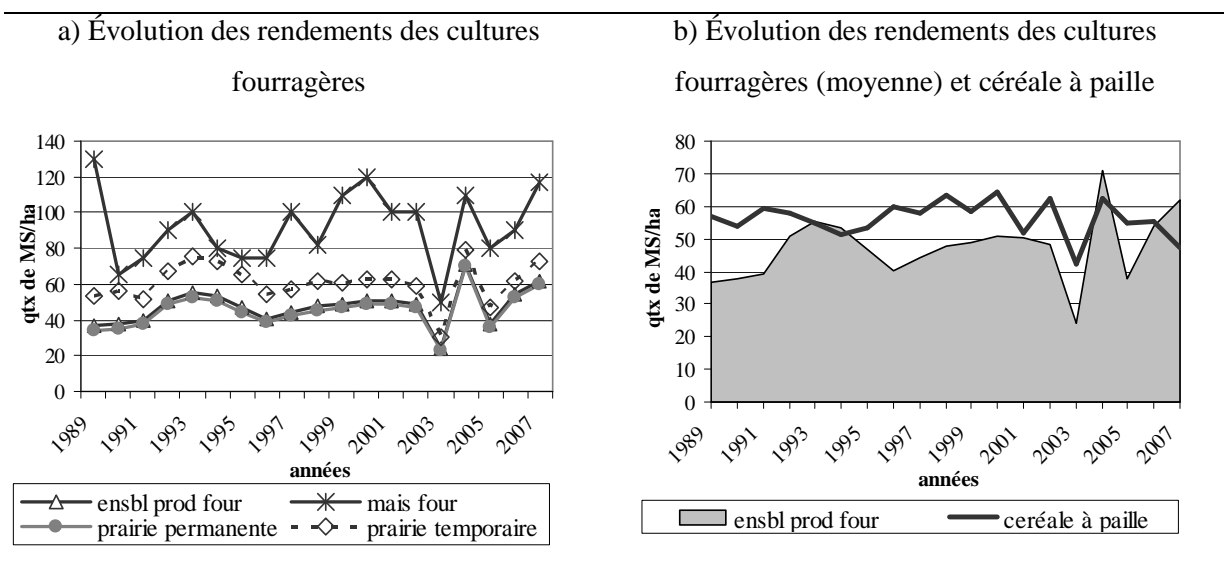


Figure 42: Evolution des rendements des surfaces fourragères selon les départements du bassin Charolais

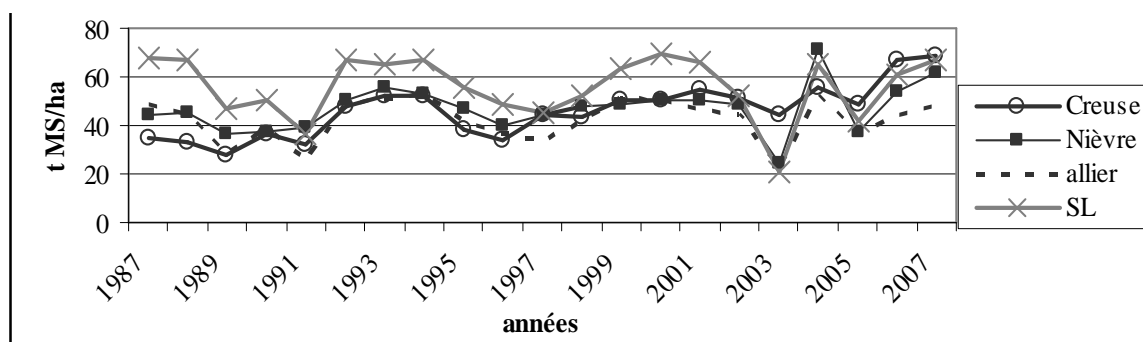


Tableau 29: Coefficient de variation entre les rendements des différentes cultures

	céréales	maïs fourrager	prairie permanente	prairie temporaire
Avec la tendance	10% <sup>a</sup>	22% <sup>b</sup>	23% <sup>c</sup>	18% <sup>d</sup>
Sans la tendance	9% <sup>a</sup>	15% <sup>b</sup>	19% <sup>b</sup>	18% <sup>b</sup>

Nombre d'observation par variable : N=95 avec la tendance et N=75 sans la tendance (source Agreste pour 5 départements du bassin Charolais) ; Sur une même ligne, les valeurs ayant les lettres en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

Tableau 30 : Matrice de corrélations entre les variations de rendement des différentes cultures

	Maïs four.	Céréales	Prairie permanente	Prairie temporaire
maïs fourrager	1,00	<b>0,40</b>	<b>0,73</b>	<b>0,68</b>
céréales	<b>0,40</b>	1,00	<b>0,33</b>	<b>0,34</b>
prairie permanente	<b>0,73</b>	<b>0,33</b>	1,00	<b>0,99</b>

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil  $\alpha=0,050$  (test bilatéral de Pearson)

Nombre d'observation par variable :  $N=75$  (source Agreste pour 5 départements du bassin Charolais)

Nous avons calibré le modèle de végétation (Jouven et al., 2006) de façon à se rapprocher le plus possible des rendements estimés par les statistiques départementales (Tableau 31). Le coefficient de détermination entre les estimations d'Agreste et celles du modèle reste cependant très faible (Figure 43, Figure 44).

Tableau 31 : calibrage des paramètres du sous-modèle de croissance de l'herbe

	PP	PT	
<b>Composition fonctionnelle de la prairie permanente</b>	Graminées A	30	10
	Graminées B	70	90
<b>Fertilité du sol (indice de nutrition azotée)</b>	INN =	0,61	0,75
<b>Réserve utile du sol (mm)</b>	RU =	40	50

Figure 43: Comparaison entre les rendements annuels des prairies permanentes simulés et estimés par Agreste

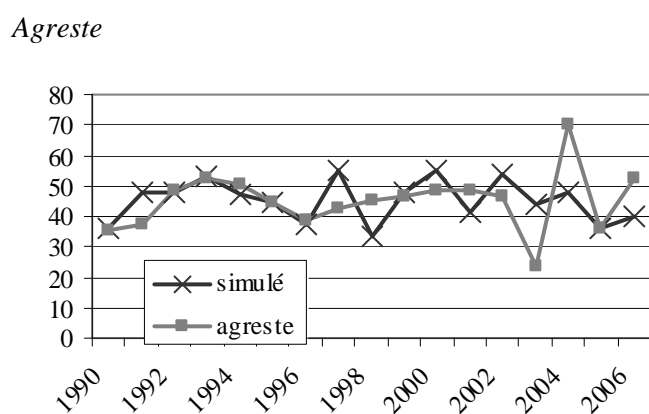
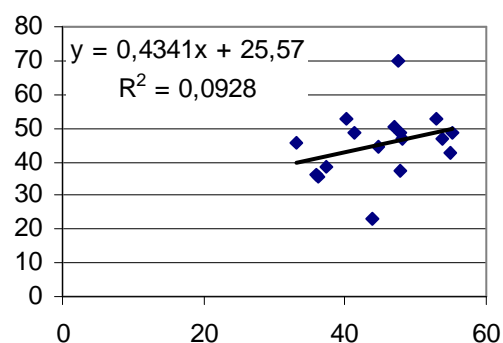


Figure 44: Nuage de points entre rendements annuels prédits et observés



ANNEXE 5: Poids des animaux

La courbe de croissance théorique des jeunes animaux est définie par une loi de Gompertz qui tend en asymptote vers le poids vif adulte de l'animal (Table INRA, p 94) (eq 1 et 3). Pour les multipares, on suppose que leur croissance est achevée. Leur poids moyen théorique est donc fixe sur l'ensemble de l'année. Il existe une certaine variabilité intra-race au niveau du format (i.e. de la taille) des animaux et de leur vitesse de croissance. Afin de prendre en compte celle-ci, certains paramètres des courbes de croissance correspondant à la charolaise (INRA, 2007) ont été modifiés (Tableau 32). A partir de ces paramètres nous avons retracé les courbes de croissances théoriques des animaux modélisés en fonction de leur âge (Figure 45). Le Tableau 33 indique pour chaque mois l'âge des animaux simulés (la date de vêlage est fixée au 1<sup>er</sup> février dans le modèle) et le Tableau 34 récapitule les poids théoriques correspondant à ces âges. Le GMQ théorique est calculé à partir de la prise de poids théorique d'un mois à l'autre.

$$PV_f = PV_0 * \exp(a_1) \quad (1)$$

$$GMQ_i = a_2 * PV_i * \ln\left(\frac{PV_f}{PV_i}\right) \quad (2)$$

Avec  $PV_f$  le poids vif adulte,  $PV_0$  le poids initial considéré,  $PV_i$  le poids à l'instant  $i$ ,  $a_1$  et  $a_2$  des paramètres associés au type d'animal.

Tableau 32 : Paramètres calibrés pour les équations de courbes de croissance

	Femelles en croissance	Génisses engrais	Male et bœuf en croissance	Male à l'engrais	Bœufs à l'engrais
$PV_0$	300	450	500	300	500
$a_1$	0,973 <sup>+</sup>	0,617	1,114	1,30 <sup>+</sup>	0,34 <sup>+</sup>
$a_2$	0,0025	0,0035	0,0025	0,0037	0,0035

<sup>+</sup> Paramètres ayant été modifiés par rapport à la table p 107

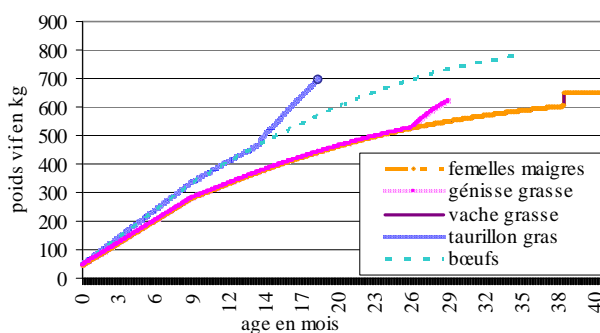
Tableau 33 : Âge des animaux en mois

	avr.	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	janv	févr	mars
génisse 0											<b>0</b>	<b>1</b>
génisse 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
génisse 2	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
primipare	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
multipare	≥38	≥39	≥40	≥41	≥42	≥43	≥44	≥45	≥46	≥47	≥48	≥49
vache grasse	≥38	≥39	≥40	≥41	≥42	≥43	≥44	<b>≥45</b>				
génisse grasse	26	27	28	29	30	<b>31</b>						
mâle 0											<b>0</b>	<b>1</b>
mâle 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
taurillon	14	15	16	17	18	<b>19</b>						
bœuf 2	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
bœuf 3	26	27	28	29	30	31	<b>32</b>					

Tableau 34 : Poids théorique des animaux en fonction du mois considéré

	avr.	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	janv	févr	mars
génisse 0											<b>45</b>	70
génisse 1	98	125	153	180	208	236	263	287	305	323	341	356
génisse 2	373	389	405	419	434	448	460	473	485	496	507	516
primipare	526	534	543	551	558	566	572	578	584	589	594	599
multipare	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650
vache grasse	650	650	650	650	650	650	689	<b>721</b>				
génisse grasse	526	565	597	621	641	<b>656</b>						
mâle 0											<b>48</b>	79
mâle 1	113	146	180	213	247	281	314	345	370	396	421	444
taurillon	468	512	556	598	639	<b>677</b>						
bœuf 2	468	491	514	536	557	578	598	617	634	652	668	682
bœuf 3	697	710	723	734	745	754	<b>763</b>					

Figure 45 : Courbes de croissances théoriques des animaux



Nous avons ensuite comparé les poids simulés aux poids vifs moyens à la vente dans la base de données (données 1999-2006). Les écarts entre prédiction du modèle et observations moyennes sont toujours inférieurs à un écart type des observations (Tableau 35). Le modèle peut par conséquent être validé. Les écarts relativement importants pour les génisses entre 2.5 et 3.5 ans peuvent s'expliquer par le fait qu'à cet âge s'effectue un tri au sein de l'exploitation : ce sont souvent les moins bonnes génisses qui sont vendues afin de garder les meilleures pour le renouvellement du troupeau.

Tableau 35 : Comparaison des poids simulés et des poids de ventes observés dans la base de données de 1998 à 2006

	Génisse maigre					Primipare maigre	Multipare maigre
	>1,5 ans		>2,5 ans		<3,5 ans		
N	2142	2614	1309	672	302	483	1552
Âge moyen obs. (jours)	274	366	547	732	908	1390	7,7 ans
Poids moyen obs (kg vif)	285 (48)	319 (55)	401 (71)	464 (61)	574 (58)	616 (70)	670 (70)
Poids simulé (kg vif)	287	341	434	508	558	629	660

	Génisse	Vache grasse	broutard		Taurillon	Bœufs
	grasse				gras	
N	2577	12015	8092	10405	10079	2223
Âge moyen obs. (jours)	946	7.1	299	372	584	1033
Poids moyen obs (kg vif)	685 (76)	746 (82)	388 (61)	420 (67)	687 (61)	765 (876)
Poids simulé (kg vif)	660	756	367	427	686	778

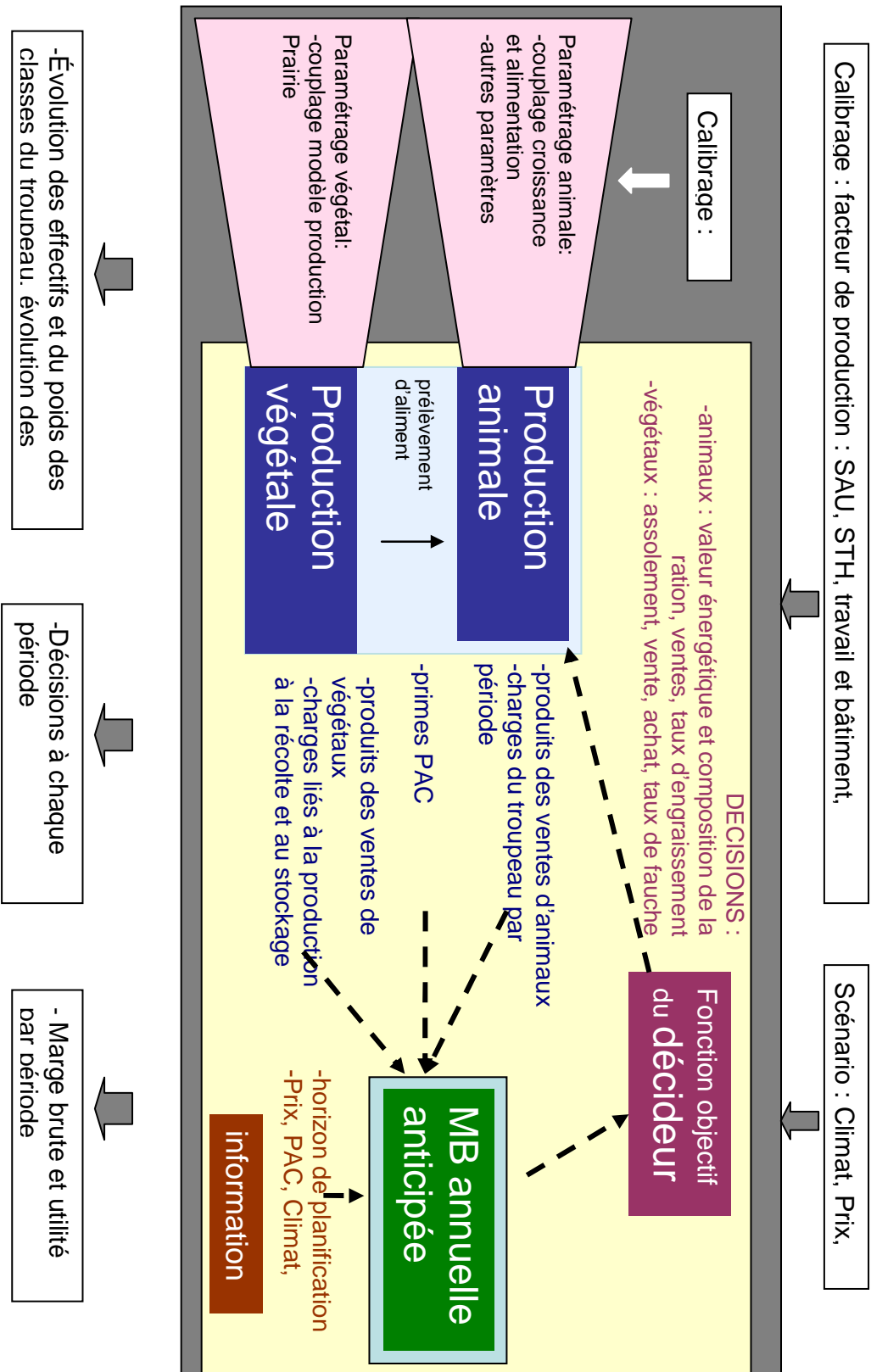
Par ailleurs, pour paramétrer l'équation (3) du modèle en programmation mathématique (cf partie 3), il nous a fallu en estimer les paramètres à partir des données INRA (2007). Les coefficients de détermination des régressions entre GMQ théoriques (i.e donnés dans INRA, 2007) et GMQ estimés sont globalement très bons (Tableau 36). Il l'est un peu moins pour les vaches à l'engrais car le modèle d'origine prend également en compte la note d'état de l'animal.

$$GMQ_a = g1_a + g2_a * PV_a + g3_a * NEG_a \quad (3)$$

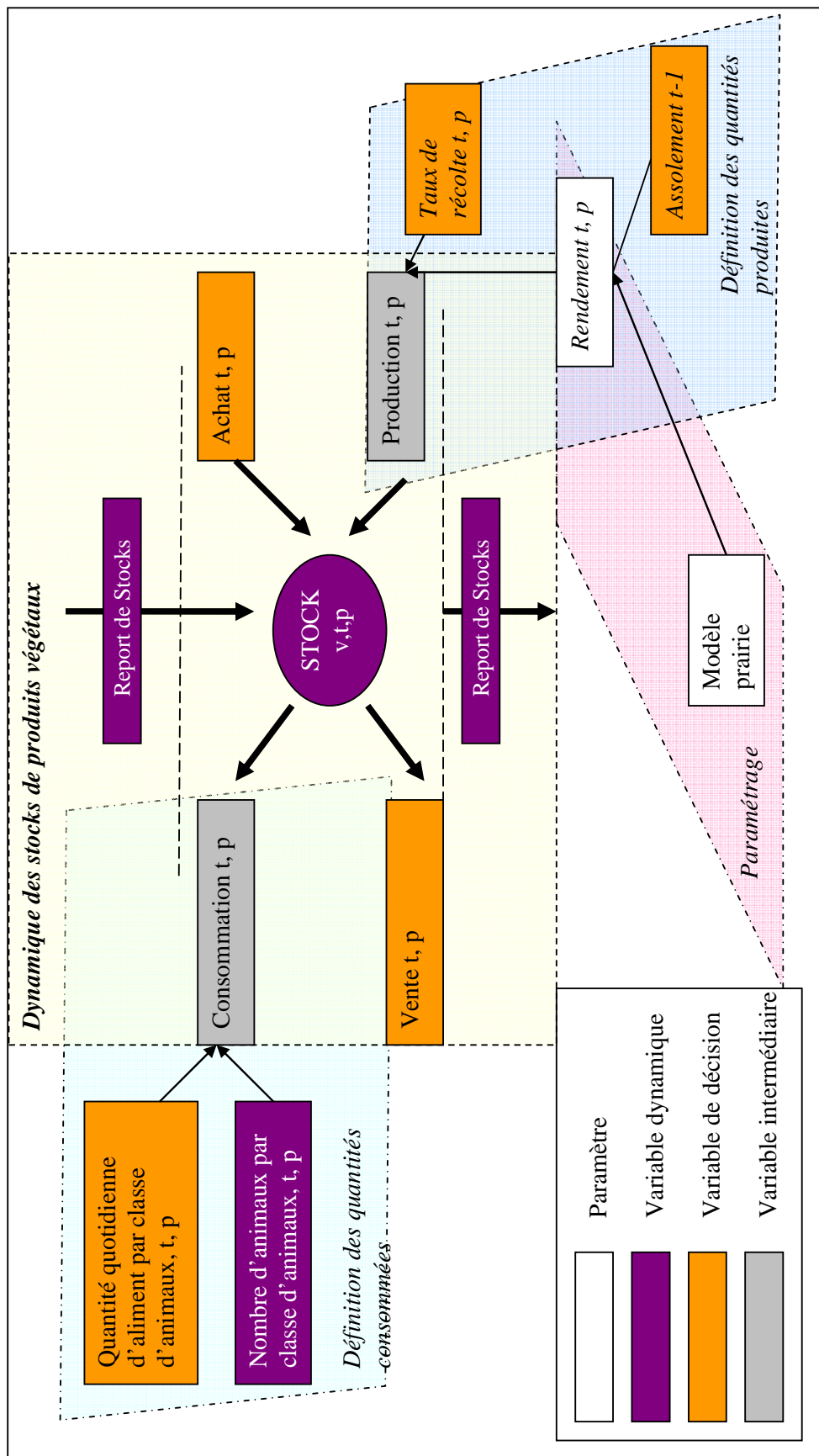
Tableau 36 : Paramétrage des équations de gain de poids: résultats des régressions à partir des données INRA (2007):

	g1	g2	g3	R <sup>2</sup>
génisse 1	0,20	-0,0002	0,06	95%
génisse 2	0,27	-0,0005	0,06	98%
primipare	0,43	-0,0006	0,05	98%
vache grasse	0,92	-0,0011	0,03	78%
génisse grasse	1,27	-0,0017	0,04	96%
mâle 1	0,14	-0,0001	0,06	99%
taurillon gras	1,23	-0,0016	0,05	98%
bœuf 2	0,34	-0,0006	0,05	97%
bœuf 3	1,25	-0,0015	0,04	98%

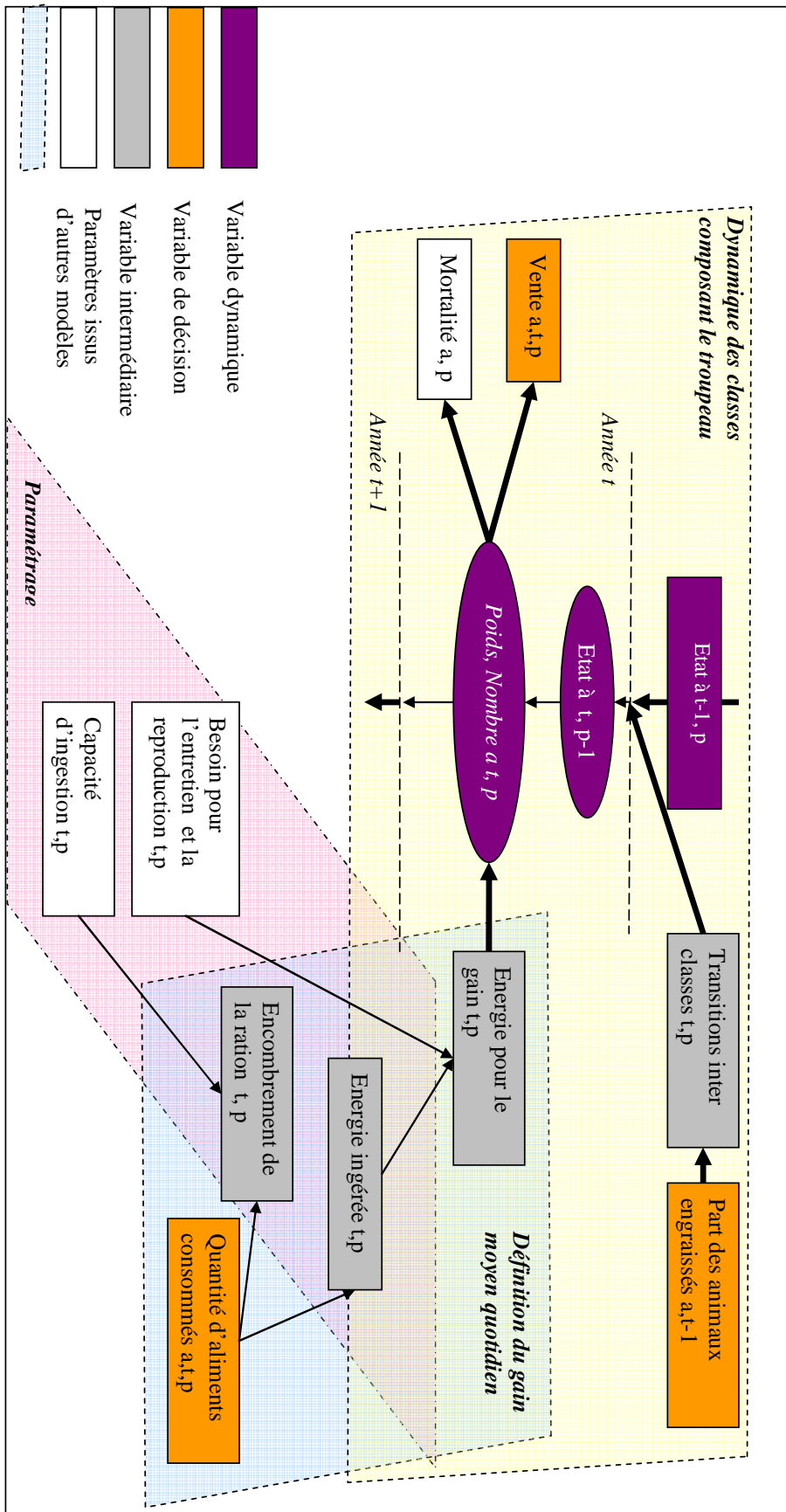
**ANNEXE 6: Schéma d'ensemble des différentes composantes du modèle**



ANNEXE 7: Schéma : dynamiques de la production végétale



ANNEXE 8: Schéma : dynamiques de la production animale





**ANNEXE 9: Le code des programmes de l'analyse statistique du 2.1**

$$\text{Model : } Y_{i,t,classe} = \mu + \alpha_{classe} + \varepsilon_{i,t,classe}$$

```

*** Repeated Measures ANOVA Analysis ***;
*** for autoregressive covariance structure ***;
options pageno=1;
proc mixed data=Sasuser.Oct09;
  class CLASSE N_EXPL ANNEE;
  model rwc_ha = CLASSE / ddfm=satterth htype=3;
  repeated ANNEE / sub=N_EXPL type= ar(1);
  lsmeans CLASSE / pdiff adjust=TUKEY;
run;

```

$$Y_{i,t,classe} = b_{classe} + c_{classe} \times \text{années} + \varepsilon_{i,t,classe}$$

```

*** Sort data by BY variables ***;
proc sort data=SASUSER.oct09 out=work._stsrst_;
  by CLASSE;
run;
*** Repeated Measures ANOVA Analysis ***;
** Create a duplicate variable for each non-class variable in the repeated effect. ;
data work._oct09; set work._stsrst_;
  _annee = ANNEE;
  label _annee = "Duplicate of ANNEE to be used as a class variable";
run;
*** Repeated Measures ANOVA Analysis ***;
*** for ar(1) covariance structure ***;
options pageno=1;
proc mixed data=work._oct09;
  by CLASSE;
  class N_EXPL _ANNEE;
  model REVENU_DU_TRAVAIL_ET_CAPITAUX_PR = ANNEE / ddfm=satterth htype=3
  solution outp=WORK._PRED;
  repeated _ANNEE / sub=N_EXPL type=ar(1);
run;

```



**ANNEXE 10: Programme sous SAS du modèle économétriques (partie 2.2) (extraits)**

```

libname lee 'h:\sas.sas';
data toto;
set lee.lee51;
run;

/* DEFINITION DES VARIABLES DU MODELE */

/* calcul préalable de la moyenne de la marge brute par UTH par exploitation */
proc sort data=toto ;
by id;
proc means data=toto noprint;
var mb2;
output out = fmb2 mean= mmb2;
by id;
run;

data fmb2;set fmb2;tt=1;
keep mmb2 tt;
data toto;set toto;
tt=1;
data toto;merge toto fmb2;by tt;
run;

data toto;set toto;

/* la quantité et le prix de l'output*/
y = e_v_ugb*s_charg; /* quantité de viande produite à l'ha de SFP par exploitation et par année*/
p = prix ; /* prix moyen de la viande vendue par exploitation et par année */

/*les quantités et les prix des inputs endogènes*/
x1 =azo_sfp; /* quantité d'azote appliquée sur la SFP par année et par exploitation */
r1 = prix_azo; /* prix de l'unité d'azote par année et par exploitation*/

x2 =(e_con2_dep_ugb+e_gr_ugb)/((e_con2_dep_ugb/e_con2_ugb))*s_charg;
/* quantité de concentré consommé et aliment grossier acheté par ha de SFP*/
r2 = (e_con2_dep_ugb)/(e_con2_ugb);
/* prix moyens des aliments achetés*/

/*les inputs exogènes*/
c1= clim_moy; /* rendement global des surfaces fourragères par année et par exploitation */

/*les inputs exogènes*/
Z1 = rdtcer_moy; /* rendement moyen des céréales par exploitation par exploitation */
Z2 = a_prod_moy; /* indicateur productivité animale, technicité éleveur */

/*les variables de richesse*/
w_bar = mmb2 ; /* marge brute par UTH */
w_bar2 = w_bar*w_bar ;

/*le profit recalculé*/
pi = prix * e_v_ugb*s_charg - r2*x2- r1*x1;

tt=1;

```

```

/*recodage des variables en log*/
lx1=log(x1);
lx2=log(x2);
lc1=log(c1);
lz1=log(z1);
lz2=log(z2);

run;

/* LE MODELE FIML */

/*procedure utilisée : proc model*/

proc model data = toto outparms = beta2;

endogenous y x1 x2 pi p;

control sig_ep=1 ;

/*définition des fonctions */

/* espérance de la fonction de production*/
f = f_0 + f_1*x1 + f_2*x2 + f_12*x1*x2 + f_11*x1*x1/2 + f_22*x2*x2/2
  + fz_11*z1*x1 + fz_12*z1*x2 + fz_21*z2*x1 + fz_22*z2*x2
  + f_c1*c1 + f_z1*z1 + f_z2*z2 ;

f_x1 = f_1 + f_11*x1 + f_12*x2 + fz_11*z1 + fz_21*z2 + fc_11*c1;
f_x2 = f_2 + f_22*x2 + f_12*x1 + fz_12*z1 + fz_22*z2 + fc_12*c1;

/* variance de la fonction de production : fonction translog*/
h = exp(h_0 + h_1*lx1 + h_2*lx2 + h_12*lx1*lx2 + h_11*lx1*lx1/2
  + h_22*lx2*lx2/2 + hz_11*lz1*lx1 + hz_12*lz1*lx2
  + hz_21*lz2*lx1 + hz_22*lz2*lx2
  + hc_11*lc1*lx1 + hc_12*lc1*lx2
  + h_c1*lc1 + h_z1*lz1 + h_z2*lz2 ) ;

h_x1 = h*(h_1 + h_12*lx2 + hz_11*lz1 + hz_21*lz2 + hc_11*lc1) / x1;
h_x2 = h*(h_2 + h_12*lx1 + hz_12*lz1 + hz_22*lz2 + hc_12*lc1) / x2;

/*fonction de prix*/
p_bar = p_0 + p_1 * (lag_p) ;

/*fonction de profit*/
pi = p * f - r1*x1 - r2*x2 ;

/*aversion au risque*/
phi = w_0 + w_1 * W_bar + w_2*W_bar*W_bar/2 ;

/*conditions du modèle*/

/* condition sur la production de Y*/
y = f; /* espérance de la production */
eq.zer1 = (y - f)*(y - f) - sig_ep*sig_ep*h*h ; /* variance de la production */

/* condition sur l'espérance du prix*/

```

p = p\_bar;

*/\* condition sur l'espérance du prix\*/*

eq.zer3 = ((p-p\_bar) \* (y-f))\*\*2 + test3  
 - (p\_bar\*p\_bar \*h\*h\*sig\_ep\*sig\_ep + f\*f\*sig\_theta\*sig\_theta  
 + h\*h\*sig\_ep\*sig\_ep\*sig\_theta\*sig\_theta) ;

*/\* condition d'ISIK liant programme d'optimisation de l'éleveur et inputs endogènes\*/*

eq.re1 = -r1 + p\_bar\*f\_x1\*(1 - phi\*sig\_theta\*sig\_theta\*f / p\_bar)  
 - (phi\*h\*h\_x1\*sig\_ep\*sig\_ep)\*(p\_bar\*p\_bar + sig\_theta\*sig\_theta) + test1;  
*/\* condition d'ISIK sur l'input 1 \*/*

eq.re2 = -r2 + p\_bar\*f\_x2\*(1 - phi\*sig\_theta\*sig\_theta\*f / p\_bar)  
 - (phi\*h\*h\_x2\*sig\_ep\*sig\_ep)\*(p\_bar\*p\_bar + sig\_theta\*sig\_theta) + test2;  
*/\* condition d'ISIK sur l'input 2 \*/*

eq.re3 = r1\*(p\_bar\*f\_x2\*(1 - phi\*sig\_theta\*sig\_theta\*f / p\_bar)  
 - (phi\*h\*h\_x2\*sig\_ep\*sig\_ep)\*(p\_bar\*p\_bar + sig\_theta\*sig\_theta))  
 - r2\*(p\_bar\*f\_x1\*(1 - phi\*sig\_theta\*sig\_theta\*f / p\_bar)  
 - (phi\*h\*h\_x1\*sig\_ep\*sig\_ep)\*(p\_bar\*p\_bar + sig\_theta\*sig\_theta)) ;  
*/\* condition d'ISIK sur les inputs 1 et 2 \*/*

eq.re4 = r1/r2 - (p\_bar\*f\_x1\*(1 - phi\*sig\_theta\*sig\_theta\*f / p\_bar)  
 - (phi\*h\*h\_x1\*sig\_ep\*sig\_ep)\*(p\_bar\*p\_bar + sig\_theta\*sig\_theta))  
 /  
 (p\_bar\*f\_x2\*(1 - phi\*sig\_theta\*sig\_theta\*f / p\_bar)  
 - (phi\*h\*h\_x2\*sig\_ep\*sig\_ep)\*(p\_bar\*p\_bar + sig\_theta\*sig\_theta)) ;

eq.re5 = phi\*h\*(p\_bar\*p\_bar + sig\_theta\*sig\_theta)\*(f\_x1\*h\_x2 - f\_x2\*h\_x1) + r2\*f\_x1 - r1\*f\_x2 ;

*/\*résolution du modèle\*/*

**fit** zer1 zer3 re3 pi p / **fiml** maxiter = 1500 hessian = cross covbest= cross;

*/\* ESTIMATION DES ELASTICITES \*/*

*/\* dérivée premières\*/*

estimate 'f\_x1 = ' f\_1 + f\_11\*x1 + f\_12\*x2 + fc\_11\*c1 + fz\_21\*z2 + fz\_11\*z1;

(...)

estimate

'h\_x1 ='

((h\_1 + h\_12\*log(x2) + hc\_11\*log(c1) + hz\_11\*log(z1) + hz\_21\*log(z2)))/X1  
 \*(exp(h\_0 + h\_1\*x1 + h\_2\*x2 + h\_12\*x1\*x2 + h\_11\*x1\*x1/2  
 + h\_22\*x2\*x2/2 + hz\_11\*lz1\*x1 + hz\_12\*lz1\*x2  
 + hz\_21\*lz2\*x1 + hz\_22\*lz2\*x2 + hc\_11\*lc1\*x1  
 + hc\_12\*lc1\*x2 + hc\_21\*lc2\*x1 + hc\_22\*lc2\*x2  
 + h\_c1\*lc1 + h\_z1\*lz1 + h\_z2\*lz2 ));

(...)

*/\* dérivée secondes par rapport aux inputs endogènes\*/*

estimate 'ff\_x1 = ' f\_11;

(...)

*/\* ESTIMATION POINT PAR POINT DE L'ELASTICITÉ : l'élasticité de x par rapport  $f = x \cdot f'(x)/f(x)$  \*/*

```

estimate
'elas_f_x1 ='
(f_1 + f_11*x1 + f_12*x2 + fc_11*c1 + fz_21*z2 + fz_11*z1)*x1
/(f_0 + f_1*x1 + f_2*x2 + f_12*x1*x2 + f_11*x1*x1/2 + f_22*x2*x2/2
+ fz_11*z1*x1 + fz_21*z2*x1 + fz_12*z1*x2 + fz_22*z2*x2
+ f_c1*c1 + fc_11*c1*x1 + fc_12*c1*x2
+ f_z1*z1 + f_z2*z2) ;

```

(...)

```

estimate
'elas_h_x1 = ' h_1 + h_12*log(x2) + hc_11*log(c1) + hz_11*log(z1) + hz_21*log(z2) ;

```

(...)

```

test phi=0/WALD ;
*test w_1=0/WALD ;
*test w_2=0/WALD ;
run;
quit;

```

```

data beta2;set beta2;tt=1;
data toto;merge toto beta2; by tt;
/* ESTIMATION DES coefficients de determination des differentes fonctions */

```

```

data toto; set toto;

```

```

sig_ep=1 ;
sig_theta = -0.14;
w_0=0;
w_1=0;
w_2=0;

```

*/\* rappel de toutes les fonctions utilisees pour conditionner le modèle\*/*

(...)

```

/* Ecriture des predictions*/
y_hat = f; /* Condition sur E(y) = f */
p_hat = p_bar; /* Condition sur E(p) = P_BAR */
r1_hat = p_bar*f_x1*(1 - phi*sig_theta*sig_theta*f / p_bar)
- (phi*h_x1*sig_ep*sig_ep)*(p_bar*p_bar + sig_theta*sig_theta) ;
/* Condition structurelle fondamentale (Eq (7) de Isik 2002) input 1 */
r2_hat = p_bar*f_x2*(1 - phi*sig_theta*sig_theta*f / p_bar)
- (phi*h_x2*sig_ep*sig_ep)*(p_bar*p_bar + sig_theta*sig_theta) ;
/* Condition structurelle fondamentale (Eq (7) de Isik 2002) input 2 */

```

```

proc means data=toto;
var y y_hat p p_hat r1_hat r2_hat r1 r2 pi pi_hat f_x1 f_x2 h_x1 h_x2 h F phi ;
run;

```

```

/* regression par les MCO*/
proc reg data=toto;
model y_hat = y/covb;

```

```
model p_hat = p;  
model r1_hat = r1;  
model r2_hat = r2;  
model pi_hat = pi;  
run;  
quit;
```



**ANNEXE 11: Programme sous Gams du modèle d'exploitation en programmation  
mathématique (extraits)**

```

* =====
*          MODELE CHAROLAIS-RISK
*
* =====
option reslim=100000;
option iterlim = 100000 ;
option nlp = conopt;

*
*          INDICES
*

SET
*-----PERIODS
year          Années réelles (moyenne /1990*2006/
              rendement)
              Yearp (year)      Années réelles (période /2000*2006/
              simulée)
p              Temps : mois          /1*12/
t              Temps : année         /1*5/
              tlast(t)            Dernière année
              tlast(t)=yes$(ord(t)eq card(t));

SET
*-----ANIMALS
* no steer for this simulation
a              Classes animales      /heif0,heif1,heif2,prim, cow, mal0, mal1,
              fmal2,fcow,fheif3/
              calves(A)           Veaux nés dans l'année /heif0,mal0/
              nc (A)              Pas des veaux nés dans /heif1,heif2,mal1,fmal2,prim,cow,fcow,fheif3/
              l'année
              ncc(nc)            Ni veau, ni vache /heif1, mal1,heif2,fmal2,prim,fcow,fheif3/
              fat(nc)            Animaux engraisés /fmal2,fcow,fheif3/
              A_UFL(nc)          Energie en UFL /mal1, heif1,heif2,prim, cow, fcow/
              nfat(A_UFL)        Animaux maigres /heif1,heif2,prim, cow, mal1/
              yg(A_UFL)          Broutard 1 an /heif1,mal1/
              ny(A_UFL)          Animaux > 1 an /heif2,prim, cow/

;
SET
*-----CROP and feed
c              Cultures /tg, pg,cer1,cer2,maiz/
              cer(c)           céréales /cer1,cer2/
              Fod(c)           prairies /tg, pg/
v              Produits des cultures / hgrass, conc,ggrass,smaiz,straw/
              sk (v)          Pas l'herbe / hgrass, conc,smaiz,straw/
              nt(V)           Produits non commercialisables non tradable product /ggrass, smaiz /

              feed(v)         Produits pouvant entrer dans la /hgrass, conc,ggrass,smaiz, straw /
              composition des rations animales
              ng(v)           Pas l'herbe ni la paille / conc,smaiz,straw/

```

val Valeur nutritive des aliments /FV, NE, NEfat/  
 e Calcul PAC ou technique (pour /cap,tec/  
 chargement)

\*-----RANDOM VARIABLES

mark Aléas de marché /m\_1, m\_2/  
 clim\_t1 Aléas de climat pour l'année 1 /c1\_1,c1\_2/  
 clim\_t2 Aléas de climat pour l'année 2 /c2\_1,c2\_2/  
 sn États de nature des variables aléatoires /e0,sd,e1,e2,e3,e4,e5,e6/  
 pour la simulation  
 l Nombre d'années dans la sequence /l\*50/  
 simulée  
 seq Sequences d'évènements aléatoires /s1\*S4/

\*=====

\* PARAMETRES

\*=====

\*=====

\*-----importation de fichiers excel "data.xls"

\$CALL GDXXRW.EXE data\_anim.xls par=par\_ap rng=par\_ap!c3:p181 cdim=1 rdim=2  
 parameter par\_ap(\*,a, p) ;  
 \$GDXIN data\_anim.gdx  
 \$LOAD par\_ap  
 \$GDXIN

(...)

\*-----déclaration des scalaires

Scalar  
 o Petit nombre /0.00000001/,  
 loss Perte de biomasse à la récolte des prairies /0.8/,  
 \*-----animal  
 cull\_min Taux de réforme minimum des multipares /0.25/,  
 prol Taux de prolificité /1.04/,  
 milk Énergie du lait /2.27/,  
 fillmin Encombrement minimum de la ration /0.8/,  
 fillmax Encombrement maximum de la ration /1/,  
 straw\_lu Besoin en paille par UGB /7/,  
 Cost\_lu Cout variable non affectable en € par UGB /78/,  
 \* -----fonction objectif  
 alpha Préférence intertemporelle /0.16/,  
 r Taux d'actualisation /0.04/,  
 gamma Aversion au risque /0.5/,

\*-----structure

lab\_max1 Contraintes de travail par rapport aux nombre /270/  
 d'UGB et à la surface en céréale  
 lab\_max2 Nombre de vêlage possible /95/  
 UAA Surface Agricole Utile /150/  
 ;

\*-----déclaration des paramètres

day(p) Nombre de jour par mois

\*-----animal

NB_0(a)	Nombre initial d'animaux
tmp(p)	Production de lait
LW_0(a)	Poids initial
tlw(a,p)	Poids théorique
mort(a,p)	mortalité
lu(a,e,p)	Unité gros bovin selon les critères PAC ou techniques
*----- végétaux	
ST_0(v)	Stocks d'aliments initiaux en qtx de MS
X_0(c)	Assolement initial en ha
qual(val,v,fod,t,p)	Qualité des produits végétaux (énergie et encombrement)
ST_qual (val, v,t,p)	Qualité des stocks de produits végétaux
abs(p)	Pertes de biomasse par abscission
harv(ng,p)	mois de récolte
st_max(v)	Capacité de stockage des aliments

\* \_\_\_\_\_ produits végétaux \_\_\_\_\_

X\_0(c)= par\_crop(c,'X\_0');  
loop((ng,p), 0); harv('conc', '4')=1; harv('straw', '4')=1; harv('smaiz', '6')=1;

loop(v, ST\_0(v)= par\_crop('ST\_0',v) );  
loop((p),loss(p)= ('loss','2002','pg',p)) ;

loop((v,t,p),ST\_qual(val,v,t,p)= par\_crop(val,v));  
loop((t,p,val),ST\_qual(val,'ggrass',t,p)= sum(year,par\_fod(val,year,'tg',p))/card(year));

\* \_\_\_\_\_ economic model \_\_\_\_\_

Parameter

spri_Ai(a)	Prix pour l'évaluation initiale des stocks
spri_Af(a)	Prix pour l'évaluation finale des stocks
scost(v)	Cout du stockage
ccost@	prix d'achat
spri_V(v)	Prix pour l'évaluation finale des stocks
HC(p)	Cout de récolte du quintal d'herbe

\*Primes PAC

premcow1(t)	premium for the first 40 suckler cows,
premcow2(t)	premium for suckler cows beyond 40 suckler cows,
premheif(t)	heifer allowed for premcow,NB_premcow1(t) number of entitlement for premcow1,
NB_premcow2(t)	number of entitlement for premcow2,
premfmal(t)	premium for young bull slaughtering,
premsteer(t)	premium for steer slaughtering, premSR1(t) premium for low stocking rate 1st level,
premSR2(t)	premium for low stocking rate 2st level, 1st level, 2nd level,
SR1(t)	Seuil de chargement max. pour avoir droit au complément extensive niveau 1
SR2(t)	Seuil de chargement max. pour avoir droit au complément extensive niveau 2
Premslaught1(t)	premium for > 8months slaughtering , p
Premslaught2(t)	premium fat cows slaughtering,
Premslaught4(t)	
Premslaught3(t)	premium fat heifer slaughtering , mod(t) modulation rate of total premium,
SFP(t)	Paiement unique par exploitation
Y_cap(t)	Rendement COP départemental de référence pour la PAC
P_cap(t)	Paiement compensatoire COP par quintaux de référence
mod(t)	Taux de modulation
Prob(*)	Probabilités associées aux différents états de nature

\* \_\_\_\_\_ PROBABILITE \_\_\_\_\_

parameter prob(\*)

/

m\_1 0.5,      m\_2 0.5



SALE(t,clim_t1,clim_t2,mark)	Recettes des ventes (animal +vegetal)
SALE_A(t,clim_t1,clim_t2,mark)	Recette des ventes animales
SALE_V(t,clim_t1,clim_t2)	Recette des ventes végétales
PREMcop(t)	Prime SCOP en €/ha
PREMCOW(t,clim_t1,clim_t2)	Prime au Maintien des Troupeaux de Vaches Allaitantes en €/tête
PREMSL1(t,clim_t1,clim_t2)	Prime à l'Abatage des Bovins (PAB) en €/tête
PREMSL2(t,clim_t1,clim_t2)	Prime PAB
PREMSL3(t,clim_t1,clim_t2)	Prime PAB
PREMMALE(t,clim_t1,clim_t2)	Prime Spéciale pour les Bovins Mâles
PREMLU1(t,clim_t1,clim_t2)	Montant unitaire de la prime Complément Extensif au seuil de chargement 1 en €/tête
PREMLU2(t,clim_t1,clim_t2)	Montant unitaire de la prime Complément Extensif au seuil de chargement 1 en €/tête
PREMLU(t,clim_t1,clim_t2)	Complément extensive en €
premtot(t,clim_t1,clim_t2)	Total des primes PAC reçues en €/an

\*-----Poids des animaux

LW(a,t,p,clim_t1,clim_t2)	Poids des animaux en kg
Q(feed,a,t,p,clim_t1,clim_t2)	Quantités d'aliment ingérées en quintaux de MS par jour
NEI(a,t,p,clim_t1,clim_t2)	Energie ingérée en kjoule
FILL(a,t,p,clim_t1,clim_t2)	Encombrement de la ration en Unite d'encombrement

\*-----Démographie du troupeau

LUnit(t,e,clim_t1,clim_t2)	Nombre d'UGB sur l'exploitation
SR(t,e,clim_t1,clim_t2)	Chargement
NB(a,t,p,clim_t1,clim_t2)	Nombre d'animaux présents en début de la période
AS(a,t,p,clim_t1,clim_t2)	Nombre d'animaux vendus en début de la période
SFAT(a,t,clim_t1,clim_t2)	Part des animaux mis à l'engraissement en %
Rrate(t,clim_t1,clim_t2)	Part des femelles mise à la reproduction en %

\*-----Production végétale

VC(v,t,p,clim_t1,clim_t2)	Quantités consommées par le troupeau en quintaux de MS par mois
VH(v,t,p,clim_t1,clim_t2)	Quantités récoltées en quintaux de MS par mois
VS(v,t,p,clim_t1,clim_t2)	Quantités vendues en quintaux de MS par mois
VB(v,t,p,clim_t1,clim_t2)	Quantités achetées en quintaux de MS par mois
ST(v,t,p,clim_t1,clim_t2)	Quantités stockées en quintaux de MS par mois
X(t,c)	Surface allouée aux différentes cultures en ha
CUT(t,p,clim_t1,clim_t2)	Quantités d'herbes récoltées en quintaux de MS par mois

\*

\*

DECLARATION DES EQUATIONS

\*

EQUATION

(...)

\*

\*

ECRITURE DES EQUATIONS

\*

\*=====OBJECTIF, UTILITE ET RESULTATS ECONOLMIQUES=====

\*=====Fonction objectif=====

OBJECTIVE.. Z =e= sum(t,[1/(1+r)]\*\*(ord(t)-1)\*[M\_PROFIT(t)+o]\*\*(1-alpha)/(1-alpha))  
+sum(t\$last(t),(1/(1+r))\*\*(ord(t)-1)\*  
M\_VALUE\*(M\_VALUE\*M\_VALUE+o)\*\*[-alpha/2]/(1-alpha) );

;

\*=====Utilité =====

util\_PROFIT(t)..  
EU\_PROFIT(t)

```

=e=
sum((clim_t1,clim_t2,mark),
    prob(mark)*prob(clim_t2)*prob(clim_t1)
    *[(PROF(t,clim_t1,clim_t2,mark)/w+o) **((1-gamma))/(1-gamma));

mean_PROFIT(t)..
M_PROFIT(t)
=e=
[EU_PROFIT(t)*(1-gamma)+o]**(1/(1-gamma));

util_VALFIN..
EU_VALUE
=e= sum((clim_t1,clim_t2),
    prob(clim_t2)*prob(clim_t1)
    *[(Valf(clim_t1,clim_t2) -vali)/w
    *((Valf(clim_t1,clim_t2) -vali)/w
    *(Valf(clim_t1,clim_t2)-vali)/w+o)**(-gamma/2)]);

mean_VALFIN..
M_Value
=e=
EU_value*(EU_value*EU_value*o)**(1/(2-2*gamma)-0.5);
*=====Recettes et charges =====

PROFIT(t,clim_t1,clim_t2,mark)..
PROF(t,clim_t1,clim_t2,mark)
=e=
SALE(t,clim_t1,clim_t2,mark)
+PREMTOT(t,clim_t1,clim_t2)
-VARCOST(t,clim_t1,clim_t2)
-78000;

;
VALFIN(clim_t1,clim_t2) ..
VALf(clim_t1,clim_t2)
=e= sum((a,,t)$tlast(t),
    {NB(A,t,'12',clim_t1,clim_t2)-AS(A,t,'12',clim_t1,clim_t2)} *spri_Af(a)
    + sum((v,,t)$tlast(t), [ST(v,t,'12',clim_t1,clim_t2)+VH(v,t,'12',clim_t1,clim_t2)
    + VB(v,t,'12',clim_t1,clim_t2)-VC(v,t,'12',clim_t1,clim_t2)
    -VS(v,t,'12',clim_t1,clim_t2)]*spri_V(v));

VALINIT..
VALi
=e=
sum{(A),NB_0(A) *spri_Ai(a) } +sum{(v),[ST_0(v)]*spri_V(v) };

PRODSell(t,clim_t1,clim_t2,mark)..
SALE(t,clim_t1,clim_t2,mark)
=e=
SALE_A (t,clim_t1,clim_t2,mark)
+SALE_V(t,clim_t1,clim_t2) ;

ANIMSALE(t,clim_t1,clim_t2,mark)..
SALE_A(t,clim_t1,clim_t2,mark)
=e=
sum((A,p),AS(a,t,p,clim_t1,clim_t2)
    *lw(a,t,p,clim_t1,clim_t2)
    *pri_A(a,t,p,mark));

VPSALE(t,clim_t1,clim_t2)..
SALE_v(t,clim_t1,clim_t2)
=e=

```

sum((v,p), VS(v,t,p,clim\_t1,clim\_t2)\* pri\_V(v,t,p,clim\_t1,clim\_t2));

VariableCOST(t,clim\_t1,clim\_t2)..

VARCOST(t,clim\_t1,clim\_t2)

=e=

LUnit(t,'tec',clim\_t1,clim\_t2)\*cost\_LU  
+sum((v,p),Vb(v,t,p,clim\_t1,clim\_t2)\*vcost(v,t,p,clim\_t1,clim\_t2))  
+sum((C),x(t,C)\*ccost(c))  
+sum((p,v), ST(v,t,p,clim\_t1,clim\_t2)\*scost(v))  
+sum((p), XCUT(t,p,clim\_t1,clim\_t2) HC(p))  
+25\*uaa ;

\*=====PAC

STOCKINGRATE(t,clim\_t1,clim\_t2)..

SR(t,'cap',clim\_t1,clim\_t2)

=e=

{Lunit(t,'cap',clim\_t1,clim\_t2)/[sum(fod,X\_0(fod))] }\$(ord(t)=1)  
+{Lunit(t,'cap',clim\_t1,clim\_t2)/[sum(fod,X(t-1,fod))] }\$(ord(t) gt 1);

STOCKINGRATE2(t,clim\_t1,clim\_t2)..

SR(t,'tec',clim\_t1,clim\_t2)

=e=

{Lunit(t,'tec',clim\_t1,clim\_t2)/[sum(fod,X\_0(fod))+X\_0('maiz')]}\$(ord(t)=1)  
+{Lunit(t,'tec',clim\_t1,clim\_t2)/[sum(fod,X(t-1,fod))+X(t-1,'maiz')]}\$(ord(t) gt 1);

PREMcrop(t)..

PREMcop(t)

=e=

sum(cer,X(t,cer)\*y\_cap(t)\*p\_cap(t));

MINPREMCOW(t,clim\_t1,clim\_t2)..

PREMCOW(t,clim\_t1,clim\_t2)

=l=

premcow1(t)\*sum(rep,NB(rep,t,'1',clim\_t1,clim\_t2))  
+ premheif(t)\*[NB('heif1',t,'1',clim\_t1,clim\_t2)  
+NB('heif2',t,'1',clim\_t1,clim\_t2)  
+NB('heif3',t,'1',clim\_t1,clim\_t2)];

Premcow.up(t,clim\_t1,clim\_t2)=premcow1(t)\*NB\_premcow1(t)+premcow2(t)\*NB\_premcow2(t) ;

PREMFATMALE(t,clim\_t1,clim\_t2)..

PREMMALE(t,clim\_t1,clim\_t2)

=e=

NB('mal1',t,'8',clim\_t1,clim\_t2)\*premfmal(t);

PREMFAT1(t,clim\_t1,clim\_t2)..

PREMSL1(t,clim\_t1,clim\_t2)

=e=

NB('fmal2',t,'3',clim\_t1,clim\_t2)\*premslaught1(t) ;

PREMFAT2(t,clim\_t1,clim\_t2)..

PREMSL2(t,clim\_t1,clim\_t2)

=e=

NB('heif3',t,'3',clim\_t1,clim\_t2)\*premslaught3(t);

PREMFAT3(t,clim\_t1,clim\_t2)..

PREMSL3(t,clim\_t1,clim\_t2)

=e=

NB('fcow',t,'7',clim\_t1,clim\_t2)\*premslaught2(t)\*0;

PREMSTOCKRATE1(t,clim\_t1,clim\_t2)..

PREMLU1(t,clim\_t1,clim\_t2)

=l=

```

exp((sr1(t)-SR(t,'cap',clim_t1,clim_t2))*10)*premSR1(t);

PREMLU1.up(t,clim_t1,clim_t2)= premSR1(t);

PREMSTOCKRATE2(t,clim_t1,clim_t2)..
  PREMLU2(t,clim_t1,clim_t2)
  =1= exp((sr2-SR(t,'cap'))*10)*premSR2 ;
PREMLU2.up(t,clim_t1,clim_t2)= premSR2(t);

PREMSTOCKRATE(t,clim_t1,clim_t2)..
  PREMLU(t,clim_t1,clim_t2)
  =e=
  [PREMLU1(t,clim_t1,clim_t2)+PREMLU2(t,clim_t1,clim_t2)] ;

TOTALPREMIUM(t,clim_t1,clim_t2)..
  PREMTOT(t,clim_t1,clim_t2)
  =e=
  5000+(PREMcop(t)
  +PREMCOW(t,clim_t1,clim_t2)+PREMMALE(t,clim_t1,clim_t2)
  + PREMSL1(t,clim_t1,clim_t2) +PREMSL2(t,clim_t1,clim_t2)
  +PREMSL3(t,clim_t1,clim_t2)
  + PREMLU(t,clim_t1,clim_t2)
  + SFP(t) -5000)*(1-mod(t));

*=====DEMOGRAPHIE DU TROUPEAU=====

*-----NUMBER DYNAMICS
NUMBERcalf(calves,t,p,clim_t1,clim_t2)..
  Nb(calves,t,p,clim_t1,clim_t2)
  =e=
  0
  +Nb_0(calves)
  +[sum(a1,trans_nb(a1,calves) *Nb(a1,t-1,"12",clim_t1,clim_t2)
  *Rrate(t-1,clim_t1,clim_t2)) ] $(ord(p) = 11)$ (ord(t) = 1)
  +[NB(calves,t,'11',clim_t1,clim_t2)*(1-mort(calves,'11'))
  -AS(calves,t,'11',clim_t1,clim_t2)] $(ord(p) gt 11);

NUMBERnfat(nfat,t,p,clim_t1,clim_t2)..
  Nb(nfat,t,p,clim_t1,clim_t2)
  =e=
  Nb_0(nfat)
  +[sum(a1, trans_nb(a1,nfat)*(Nb(a1,t-1,"12",clim_t1,clim_t2)
  *(1-mort(a1,'12'))
  -AS(a1,t-1,'12',clim_t1,clim_t2))
  *(1-SFAT(a1,t-1,clim_t1,clim_t2)))] $(ord(p)= 1)$ (ord(t)= 1)
  +[Nb(nfat,t,p-1,clim_t1,clim_t2) *(1-mort(nfat,p-1))
  -AS(nfat,t,p-1,clim_t1,clim_t2)] $(ord(p) gt 1) ;

NUMBERfat(fat,t,p,clim_t1,clim_t2)..
  Nb(fat,t,p,clim_t1,clim_t2)
  =e=
  Nb_0(fat)
  +[sum(a1, trans_nb(a1,fat)*(Nb(a1,t-1,"12",clim_t1,clim_t2)
  *(1-mort(a1,'12'))
  -AS(a1,t-1,'12',clim_t1,clim_t2))
  *SFAT(a1,t-1,clim_t1,clim_t2)) ] $(ord(p)= 1)$ (ord(t) gt 1)
  +[Nb(fat,t,p-1,clim_t1,clim_t2) *(1-mort(fat,p-1))
  -AS(fat,t,p-1,clim_t1,clim_t2)] $(ord(p) gt 1) ;

MINCOW1(t,p,clim_t1,clim_t2)$ (ord(p) lt 8)..
  NB('cow',t,p,clim_t1,clim_t2)
  =g=

```

```

sum(yg,Nb(yg,t,p,clim_t1,clim_t2))/prol
-NB('fcow',t,p,clim_t1,clim_t2) ;

CULLCOW(t,clim_t1,clim_t2)..
NB('cow',t,'1',clim_t1,clim_t2)*cull_min
=e=
Sum(p, AS('cow',t,p,clim_t1,clim_t2))
+ Sum(p, AS('fcow',t,p,clim_t1,clim_t2));

CULLCOW2(t,p,clim_t1,clim_t2)..
NB('prim',t,p,clim_t1,clim_t2)
=g=
NB('cow',t,'12',clim_t1,clim_t2)*cull_min ;

ASALE(a,t,p,clim_t1,clim_t2)..
AS(A,t,p,clim_t1,clim_t2)
=l=
Nb(A,t,p,clim_t1,clim_t2)*(1-mort(a,p));

LIVESTOCK(t,e,clim_t1,clim_t2)..
LUnit(t,e,clim_t1,clim_t2)
=e=
sum((a,p), (NB(a,t,p,clim_t1,clim_t2)-
AS(a,t,p,clim_t1,clim_t2))*lu(a,e,p)/card(p));

*borne supérieure
sfat.up(a,t,clim_t1,clim_t2)=1;
Rrate.up(t,clim_t1,clim_t2)=1;

*restriction pour l'engraissement
sfat.fx(calves,t,clim_t1,clim_t2)=0;
sfat.fx('heif1',t,clim_t1,clim_t2)=0;

*Restriction pour les animaux devant être impérativement vendus avant la fin de l'année
loop((p,clim_t1,clim_t2)$ (ord(p) gt 8), NB.fx ('fcow',t,p,clim_t1,clim_t2)=0);
loop((p,clim_t1,clim_t2)$ (ord(p) gt 8), AS.fx ('fcow',t,p,clim_t1,clim_t2)=0);
loop((p,clim_t1,clim_t2)$ (ord(p) gt 6), NB.fx ('fmal2',t,p,clim_t1,clim_t2)=0);
loop((p,clim_t1,clim_t2)$ (ord(p) gt 6), AS.fx ('fmal2',t,p,clim_t1,clim_t2)=0);
loop((p,clim_t1,clim_t2)$ (ord(p) gt 6), AS.fx ('fheif3',t,p,clim_t1,clim_t2)=0);
loop((p,clim_t1,clim_t2)$ (ord(p) gt 6), NB.fx ('fheif3',t,p,clim_t1,clim_t2)=0);

*restriction des ventes sur d'autres catégories
AS.fx('prim',t,p,clim_t1,clim_t2) =0 ;
AS.fx(calves,t,p,clim_t1,clim_t2)=0;
loop((yg,p,clim_t1,clim_t2) $ (ord(p) lt 5), AS.fx(yg,t,p,clim_t1,clim_t2)=0);
AS.fx('mal1',t,'12',clim_t1,clim_t2) =0 ;
*=====POIDS DES ANIMAUX =====
* =====Poids=====

LWcalf(calves,t,p,clim_t1,clim_t2)..
LW(calves,t,p,clim_t1,clim_t2)
=e=
0 $(ord(p) lt 11)
+ [LW_0(calves)] $(ord(p) = 11)
+ [LW(calves,t,p-1,clim_t1,clim_t2)
+day(p-1)*ADG(calves,t,p-1,clim_t1,clim_t2)] $(ord(p) gt 11) ;

LIVEWEIGHT(ncc,t,p,clim_t1,clim_t2)..
LW(ncc,t,p,clim_t1,clim_t2)
=e=
LW_0(ncc) $(ord(p)= 1)$ (ord(t)=1)
+[sum(a1, trans_lw(a1,ncc))*(LW(a1,t-1,'12',clim_t1,clim_t2)

```



```

=e=
par_a('g1','fmal2')
+par_a('g2','fmal2')*par_ap('LW','fmal2',p)
+par_a('g3','fmal2')* {NEI('fmal2',t,p,clim_t1,clim_t2)
-par_ap('NEM','fmal2',p) -par_ap('dNEM','fmal2',p)*[par_ap('LW','fmal2',p)-
LW('fmal2',t,p,clim_t1,clim_t2)]
-par_ap('NEP','fmal2',p)} ;

```

GAINfheif(t,p,clim\_t1,clim\_t2)\$(ord(p) lt 6)..

ADG('fheif3',t,p,clim\_t1,clim\_t2)

=e=

```

par_a('g1','fheif3')
+par_a('g2','fheif3')*par_ap('LW','fheif3',p)
+par_a('g3','fheif3')* {NEI('fheif3',t,p,clim_t1,clim_t2)
-par_ap('NEM','fheif3',p) -par_ap('dNEM','fheif3',p)*[par_ap('LW','fheif3',p)-
LW('fheif3',t,p,clim_t1,clim_t2)]
-par_ap('NEP','fheif3',p)} ;

```

*\*bornes sur le gain de poids*

ADG.up(a,t,p,clim\_t1,clim\_t2) = par\_ap('ADGmax',a,p);

ADG.lo(a,t,p,clim\_t1,clim\_t2) = par\_ap('ADGmin',a,p) ;

loop(p\$(ord(p)ge 8), ADG.fx('fcow',t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0);

loop(p\$(ord(p)ge 6), ADG.fx('fheif3',t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0);

loop(p\$(ord(p)ge 6), ADG.fx('fmal2',t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0);

loop(p\$(ord(p)lt 4), ADG.lo('cow',t,p,clim\_t1,clim\_t2)=-0.25);

loop(p\$(ord(p)gt 10),ADG.lo('cow',t,p,clim\_t1,clim\_t2)=-0.25);

\*=====Rations alimentaires=====

ENER(a\_ufl,t,p,clim\_t1,clim\_t2)..

NEI(a\_ufl,t,p,clim\_t1,clim\_t2)

=e=

sum(Feed,Q(feed,a\_ufl,t,p,clim\_t1,clim\_t2) \*ST\_qual('NE',feed,t,p)) ;

ENERfat(mfat,t,p,clim\_t1,clim\_t2)..

NEI(mfat,t,p,clim\_t1,clim\_t2)

=e=

sum(Feed,Q(feed,mfat,t,p,clim\_t1,clim\_t2) \*ST\_qual('NEfat',feed,t,p));

INT(a,t,p,clim\_t1,clim\_t2)..

FILL(a,t,p,clim\_t1,clim\_t2)

=e=

sum(Feed,Q(feed,a,t,p,clim\_t1,clim\_t2)\*ST\_qual('fv',feed,t,p)) ;

*\*bornes sur la capacité d'ingestion*

FILL.up(a,t,p,clim\_t1,clim\_t2)=par\_ap('IC',a,p)\*fillmax;

loop(p\$(ord(p) gt 8), FILL.lo(nfat,t,p,clim\_t1,clim\_t2)=par\_ap('IC',nfat,p)\*0.8);

loop(p\$(ord(p) le 8), FILL.lo(nfat,t,p,clim\_t1,clim\_t2)=par\_ap('IC',nfat,p)\*0.5);

loop(p, FILL.lo(mfat,t,p,clim\_t1,clim\_t2)=par\_ap('IC',mfat,p)\*0.8);

loop(p, FILL.lo(ffat,t,p,clim\_t1,clim\_t2)=par\_ap('IC',ffat,p)\*0.8);

*\*pas d'ingestion pour les veaux de moins de 2 mois*

NEI.fx(calves,t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0;

*\*pas d'ingestion pour les animaux obligatoirement vendu à ces périodes*

loop((p)\$(ord(p) ge 8), NEI.fx('fcow',t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0);

loop((p)\$(ord(p) ge 6), NEI.fx('fmal2',t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0);

loop((p)\$(ord(p) ge 6), NEI.fx('fheif3',t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0);

loop((yg,p)\$(ord(p) lt 3),NEI.fx(yg,t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0);

*\*pas d'herbe paturée pour les animaux finis à l'auge*  
loop(p\$(ord(p) gt 5),Q.fx('ggrass', 'fcow' ,t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0);  
Q.fx('ggrass','fmal2',t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0;

\*=====PRODUCTION VEGETALE=====

\*=====Définition des dynamiques de stocks =====

STOCKsk(sk,t,p,clim\_t1,clim\_t2)..

ST(sk,t,p,clim\_t1,clim\_t2)

=e=

ST\_0(sk) \$(ord(p)=1)\$ (ord(t) = 1)  
+[ST(sk,t-1,'12',clim\_t1,clim\_t2)  
+VH(sk,t-1,'12',clim\_t1,clim\_t2)  
+VB(sk,t-1,'12',clim\_t1,clim\_t2)  
-VC(sk,t-1,'12',clim\_t1,clim\_t2)  
-VS(sk,t-1,'12',clim\_t1,clim\_t2)] \$(ord(p)=1)\$ (ord(t)gt 1)  
+[ST(sk,t,p-1,clim\_t1,clim\_t2)  
+VH(sk,t,p-1,clim\_t1,clim\_t2)  
+VB(sk,t,p-1,clim\_t1,clim\_t2)  
-VC(sk,t,p-1,clim\_t1,clim\_t2)  
-VS(sk,t,p-1,clim\_t1,clim\_t2)] \$(ord(p)gt 1) ;

STOCKgg(t,p,clim\_t1,clim\_t2)\$ (ord(p) lt 9)..

ST('ggrass',t,p,clim\_t1,clim\_t2)

=e=

0 \$(ord(p)=1)  
+ [ {ST('ggrass',t,p-1,clim\_t1,clim\_t2)  
+sum(fod,X\_0(fod)\*y(fod,t,p-1,clim\_t1,clim\_t2))  
-CUT(t,p-1,clim\_t1,clim\_t2)  
- VC('ggrass',t,p-1,clim\_t1,clim\_t2)}  
\*abs(t,p-1,clim\_t1,clim\_t2)] \$(ord(p) gt 1)\$ (ord(t) = 1)  
+ [ {ST('ggrass',t,p-1,clim\_t1,clim\_t2)  
+sum(fod,X(t-1,fod)  
\*y(fod,t,p-1,clim\_t1,clim\_t2))  
-CUT(t,p-1,clim\_t1,clim\_t2)  
- VC('ggrass',t,p-1,clim\_t1,clim\_t2)}  
\*abs(t,p-1,clim\_t1,clim\_t2)] \$(ord(p) gt 1)\$ (ord(t) gt 1);

STBISsk(sk,t,p,clim\_t1,clim\_t2)..

VC(sk,t,p,clim\_t1,clim\_t2)

=l=

ST(sk,t,p,clim\_t1,clim\_t2)  
+VH(sk,t,p,clim\_t1,clim\_t2)  
+VB(sk,t,p,clim\_t1,clim\_t2)  
-VS(sk,t,p,clim\_t1,clim\_t2) ;

STBISgg(t,p,clim\_t1,clim\_t2)\$ (ord(p) lt 9)..

VC('ggrass',t,p,clim\_t1,clim\_t2)

=l=

[ST('ggrass',t,p,clim\_t1,clim\_t2)  
+sum(fod, X\_0(fod)\*y(fod,t,p,clim\_t1,clim\_t2))  
-CUT(t,p,clim\_t1,clim\_t2)] \$(ord(t) = 1)  
+[ST('ggrass',t,p,clim\_t1,clim\_t2)  
+sum(fod, X(t-1,fod) \*y(fod,t,p,clim\_t1,clim\_t2))  
-CUT(t,p,clim\_t1,clim\_t2)] \$(ord(t) gt 1);

*\*Ventes et achats de produits non commercialisables interdites \**

VS.fx(nt,t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0;

VB.fx(nt,t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0;

*\* pas de report de stock d'herbe sur pied d'une année sur l'autre*

loop(p\$(ord(p) ge 9),ST.fx('ggrass',t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0);

\*=====Quantités récoltées =====

\*-----rotations culturales

MAXC(t,C)..

$$\begin{aligned} X(t,C) \\ = &= \text{sum}(C2, \text{rot}(c,c2)*X_0(c2)) && \$(\text{ord}(t) = 1) \\ &+ \text{sum}(C2, \text{rot}(c,c2)*X(t-1,c2)) && \$(\text{ord}(t) > 1); \end{aligned}$$

MAXCER(t)..

$$\begin{aligned} \text{sum}(cer, X(t,cer)) \\ = &= \text{cermax}; \end{aligned}$$

*\*Les surfaces en maïs ne doivent pas excéder 80% de la capacité de stockage*

X.up(t,'maiz')=(ST\_max('smaiz')/90)\*0.8 ;

*\*Les surfaces en prairies permanentes sont fixées*

X.fx(t,'pg')=X\_0('pg');

\*-----quantités récoltées

HARVcrop(ng,t,p,clim\_t1,clim\_t2)..

$$\begin{aligned} VH(ng,t,p,clim_t1,clim_t2) \\ = &= \text{sum}(nfod, X_0(nfod) * \text{cropprod}(nfod,ng,t,clim_t1,clim_t2)*\text{Harv}(ng,p)) && \$(\text{ord}(t) = 1) \\ &+ \text{sum}(nfod, X(t-1,nfod)*\text{cropprod}(nfod,ng,t,clim_t1,clim_t2)*\text{Harv}(ng,p)) && \$(\text{ord}(t) > 1); \end{aligned}$$

HARVhgrass(t,p,clim\_t1,clim\_t2)..

$$\begin{aligned} VH('hgrass',t,p,clim_t1,clim_t2) \\ = &= [\text{CUT}(t,p,clim_t1,clim_t2)*\text{loss}]; \end{aligned}$$

*\*Hectares de prairie récoltés (ATTENTION on suppose ici que la surface en prairie est égale à la surface initiale)*

HACUT(t,p,clim\_t1,clim\_t2)..

$$\begin{aligned} XCUT(t,p,clim_t1,clim_t2) \\ = &= (\text{CUT}(t,p,clim_t1,clim_t2)*\text{sum}(fod, X_0(fod)))/ \\ &(\text{ST}('ggrass',t,p,clim_t1,clim_t2)+\text{sum}(fod, X_0(fod)*y(fod,t,p,clim_t1,clim_t2)) \\ &+ \text{CUT}(t,p,clim_t1,clim_t2)+ \text{VC}('ggrass',t,p,clim_t1,clim_t2)+o) ; \end{aligned}$$

*\*Equation qui permet de faire en sorte que les surfaces récoltées ne soient pas trop instables d'une année sur l'autre*

EQCONTROL..

CONTROL

$$\begin{aligned} = &= \text{sum}((t,clim_t1,clim_t2), \text{prob}(clim_t2)*\text{prob}(clim_t1) \\ & * \{ \text{sum}(p\$(\text{ord}(p) < 5), (\text{Xcut}(t,p,clim_t1,clim_t2)- \text{Xcut}('3',p,clim_t1,clim_t2))* \\ & (\text{Xcut}(t,p,clim_t1,clim_t2)- \text{Xcut}('3',p,'c1_1','c2_2')) * 0.0001 \} ); \end{aligned}$$

control.up=0.3;

*\*l'herbe pâturée ne peut être récoltée*

VH.fx('ggrass',t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0;

\*\*=====Consommation du troupeau =====

\*-----Aliments ingérés

TOTint(feed,t,p,clim\_t1,clim\_t2)..

$$\begin{aligned} VC(\text{feed},t,p,clim_t1,clim_t2) \\ = &= \text{sum}(a,Q(\text{feed},a,t,p,clim_t1,clim_t2)*\text{day}(p) \\ & * [\text{Nb}(a,t,p,clim_t1,clim_t2) \\ & - \text{AS}(a,t,p,clim_t1,clim_t2)]); \end{aligned}$$

\*-----Paille pour la litière

STRAWNEED(t,p,clim\_t1,clim\_t2)..

$$\begin{aligned} VC('straw',t,p,clim_t1,clim_t2) \\ = &= \text{straw\_lu} * \text{LUnit}(t,'tec',clim_t1,clim_t2)/\text{card}(p) ; \end{aligned}$$

*\*pas de consommation d'herbe au pâturage après décembre*

loop(p\$(ord(p) ge 9),VC.fx('ggrass',t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0);

loop(p\$(ord(p) ge 9),Q.fx('ggrass',a,t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0);

\*=====CONTRAINTES sur les FACTEURS de PRODUCTION =====

\*-----SURFACE

MAXUAA(t)..

Uaa =e= sum(C, X(t,C));

\*-----STOCKAGE

ST.up(v,t,p,clim\_t1,clim\_t2)=ST\_max(v);

loop(t,ST.fx('smaiz',t,'6',clim\_t1,clim\_t2)=0);

\*-----LABOUR

MAXLAB1(t,clim\_t1,clim\_t2)..

lab\_max1

=g= [2\*sum(cop, X\_0(cop)) + LUnit(t,'tec',clim\_t1,clim\_t2)] \$(ord(t) =1)  
+ [2\*sum(cop, X(t-1,cop))+ LUnit(t,'tec',clim\_t1,clim\_t2)]\$(ord(t) gt 1) ;

MAXLAB2(t,clim\_t1,clim\_t2)..

lab\_max2

=g=  
sum(calves, NB(calves, t, '11',clim\_t1,clim\_t2));

\*=====Autres contraintes liés à cette simulation=====

*\* les mâles sont obligatoirement engraisés après la 1<sup>ère</sup> année (pas de bœuf dans cette simulation)*

sfat.fx('mal1',t,clim\_t1,clim\_t2)=1;

*\* les taurillons doivent avoir une part de maïs dans leur ration*

loop((a,t,p)\$ (ord(p) lt 6),Q.lo('smaiz','fmal2',t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0.03);

Q.fx('smaiz','heif2',t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0;

Q.fx('smaiz','heif1',t,p,clim\_t1,clim\_t2)=0;

\*===== RECURSIVITE =====

PREM\_t1(a,p,clim\_t1,clim\_t2)..

premtot('1',clim\_t1,clim\_t2) =e= premtot('1',clim\_t1,'c2\_1');

SFAT\_t1(a,clim\_t1,clim\_t2)..

SFAT(a,'1',clim\_t1,clim\_t2) =e= SFAT(a,'1',clim\_t1,'c2\_1');

Rrate\_t1(clim\_t1,clim\_t2)..

Rrate('1',clim\_t1,clim\_t2) =e= Rrate('1',clim\_t1,'c2\_1');

AS\_t1(a,p,clim\_t1,clim\_t2)..

AS(a,'1',p,clim\_t1,clim\_t2) =e= AS(a,'1',p,clim\_t1,'c2\_1');

Q\_t1(feed,a,p,clim\_t1,clim\_t2)..

Q(feed,a,'1',p,clim\_t1,clim\_t2) =e= Q(feed,a,'1',p,clim\_t1,'c2\_1');

VB\_t1(v,p,clim\_t1,clim\_t2)..

VB(v,'1',p,clim\_t1,clim\_t2) =e= VB(v,'1',p,clim\_t1,'c2\_1');

VC\_t1(v,p,clim\_t1,clim\_t2)..

VC(v,'1',p,clim\_t1,clim\_t2) =e= Vc(v,'1',p,clim\_t1,'c2\_1');

VH\_t1(v,p,clim\_t1,clim\_t2)..

VH(v,'1',p,clim\_t1,clim\_t2) =e= VH(v,'1',p,clim\_t1,'c2\_1');

VS\_t1(v,p,clim\_t1,clim\_t2)..

VS(v,'1',p,clim\_t1,clim\_t2) =e= Vs(v,'1',p,clim\_t1,'c2\_1');

CUT\_t1(p,clim\_t1,clim\_t2)..

CUT('1',p,clim\_t1,clim\_t2) =e= CUT('1',p,clim\_t1,'c2\_1');

X\_t1(c,clim\_t1,clim\_t2)..

X('1',c,clim\_t1,clim\_t2) =e= X('1',c,clim\_t1,'c2\_1');

\*=====AVRIL =====

P1\_AS(a,p,clim\_t1,clim\_t2)\$ (ord(p) lt 2).. AS(a,'1',p,clim\_t1,clim\_t2) =e= AS(a,'1',p,'c1\_1','c2\_1');

P1\_Q(feed,a,p,clim\_t1,clim\_t2)\$ (ord(p) lt 2).. Q(feed,a,'1',p,clim\_t1,clim\_t2)=e= Q(feed,a,'1',p,'c1\_1','c2\_1');

P1\_VB(v,p,clim\_t1,clim\_t2)\$ (ord(p) lt 2).. VB(v,'1',p,clim\_t1,clim\_t2) =e= VB(v,'1',p,'c1\_1','c2\_1');

P1\_VC(v,p,clim\_t1,clim\_t2)\$ (ord(p) lt 2).. VC(v,'1',p,clim\_t1,clim\_t2) =e= Vc(v,'1',p,'c1\_1','c2\_1');

P1\_VH(v,p,clim\_t1,clim\_t2)\$ (ord(p) lt 2).. VH(v,'1',p,clim\_t1,clim\_t2) =e= VH(v,'1',p,'c1\_1','c2\_1');

P1\_VS(v,p,clim\_t1,clim\_t2)\$ (ord(p) lt 2).. VS(v,'1',p,clim\_t1,clim\_t2) =e= Vs(v,'1',p,'c1\_1','c2\_1');

P1\_CUT(p,clim\_t1,clim\_t2)\$ (ord(p) lt 2).. CUT('1',p,clim\_t1,clim\_t2) =e= CUT('1',p,'c1\_1','c2\_1');

\*=====MAI =====

p2\_AS(a,p,clim\_t1,clim\_t2)\$ (ord(p) lt 3).. AS(a,'1',p,clim\_t1,clim\_t2) =e= AS(a,'1',p,'c1\_1','c2\_1');

(...)

\*=====NOVEMBRE =====

P8\_AS(a,p,clim\_t1,clim\_t2).. AS(a,'1',p,clim\_t1,clim\_t2) =e= AS(a,'1',p,'c1\_1','c2\_1');

(...)

```

*=====
*=====

MODEL
charolais_april
/OBJECTIVE, util_PROFIT, util_VALFIN, Mean_PROFIT, mean_VALFIN, PROFIT, VALFIN, VALINIT,
PRODSell, ANIMSALE, VPSALE, VariableCOST, eqcontrol, STOCKINGRATE2, STOCKINGRATE,
PREMcrop, MINPREMCOW, PREMFATMALE, PREMFAT1, PREMFAT2 ,PREMFAT3,
PREMSTOCKRATE1, PREMSTOCKRATE2, PREMSTOCKRATE, TOTALPREMIUM,
MAXUAA, MAXLAB1, MAXLAB2, LIVESTOCK, NUMBERcalf, NUMBERnfat, NUMBERfat, ASALE,
MINCOW1, CULLCOW, CULLCOW2, LWcalf, LIVEWEIGHT, LIVEWEIGHTcow, GAINcalf, GAINyg,
gAIN, GAINffat, GAINfmal, GAINfheif, ENER, ENERfat, INT, TOTint, STRAWNEED, STOCKsk,
STOCKgg,STBISsk,STBISgg,MAXC,HARVcrop,HARVhgrass,HACUT,MAXCER, PREM_t1, SFAT_t1,
Rrate_t1, AS_t1, Q_t1, VB_t1, VC_t1, VH_t1, VS_t1, CUT_t1, X_t1, P1_AS, P1_Q, P1_VB, P1_VC, P1_VH,
P1_VS, P1_CUT /

charolais_may /(..)
PREM_t1,SFAT_t1,Rrate_t1,AS_t1,Q_t1,VB_t1,VC_t1,VH_t1,VS_t1,CUT_t1,X_t1,
P2_AS,P2_Q,P2_VB,P2_VC,P2_VH,P2_VS,P2_CUT /

;
(...)
charolais_april.optfile=1;
charolais_april.scaleopt=1;
(...)
*=====
*=====
***
SIMULATION
*=====
*=====
*introduction de nouveaux parameters
Parameter
real_prodV3(c,v,l) Rendement des céréales et du maïs simulés pour l'année l,
real_prodf3(fod,p,l) Rendement des prairies simulés pour l'année l,
real_pri_S3(v,p,l) Prix de vente des produits végétaux simulés pour l'année l,
real_pri_B3(v,p,l) Prix d'achat des produits végétaux simulés pour l'année l,
matrix(l,seq,sn) Matrice ,
crop_fav3(nfod,v) Rendements des céréales et maïs anticipés en année favorable,
crop_unf3(nfod,v) Rendements des céréales et maïs anticipés en année défavorable,
Y_fav3(fod,p) Rendements des prairies anticipés en année favorable,
Y_unf3(fod,p) Rendements des prairies anticipés en année défavorable,
pri_V_fav3(v,p) Prix de vente des produits végétaux anticipés en année favorable,
pri_V_unf3(v,p) Prix de vente des produits végétaux anticipés en année défavorable,
vcost_fav3(v,p) Prix d'achat des produits végétaux anticipés en année favorable,
vcost_unf3(v,p) Prix d'achat des produits végétaux anticipés en année défavorable;

crop_fav3(nfod,v) = par_crop(nfod,v)*(1+varC0(nfod,'y')/2);
crop_unf3(nfod,v) = par_crop(nfod,v)*(1-varC0(nfod,'y')/2);
Y_fav3(fod,p) = sum(year,par_fod('Y',year,fod,p)/card(year))*(1+varC0(fod,'y')/2) ;
Y_unf3(fod,p) = sum(year,par_fod('Y',year,fod,p)/card(year))*(1-varC0(fod,'y')/2) ;

pri_V_fav3(v,p) = par_crop('pri_vs',V)*(1-varC0(v,'vs')/2)+(ord(p)/50) ;
pri_V_unf3(v,p) = par_crop('pri_vs',V)*(1+varC0(v,'vs')/2)+(ord(p)/50) ;
vcost_fav3(v,p) =par_crop('pri_vb',V)*(1-varC0(v,'vb')/2)+(ord(p)/50) ;
vcost_unf3('hgrass',p) =par_crop('pri_vb','hgrass')*(1+varC0('hgrass','vb')/2)+(ord(p)/50) ;
vcost_fav3('hgrass',p) =par_crop('pri_vb','hgrass')*(1-varC0('hgrass','vb')/5)+(ord(p)/50) ;
vcost_fav3('straw',p) =par_crop('pri_vb','straw')+(ord(p)/50) ;
loop((p,k),pri_V_unf3('hgrass',p)= par_crop('pri_vs','hgrass')+(ord(p)/50)) ;

```

```

loop((l,seq,sn),matrix(l,seq,sn)=0);
loop((l,seq)$(seq_c(l,seq)=1),matrix(l,seq,'e1')=1);
loop((l,seq)$(seq_c(l,seq)=2),matrix(l,seq,'e2')=1);
loop((l,seq)$(seq_c(l,seq)=3),matrix(l,seq,'e3')=1);
loop((l,seq)$(seq_c(l,seq)=4),matrix(l,seq,'e4')=1);
loop((l,seq)$(seq_c(l,seq)=5),matrix(l,seq,'e5')=1);
loop((l,seq)$(seq_c(l,seq)=6),matrix(l,seq,'e6')=1);

loop{(fod,p,l), real_prodF3(fod,p,l) = sum[(sn), sum(year, par_fod('Y',year,fod,p))/card(year)
                                         *matrix(l,'S2',sn)*par_risk_c(fod,'y',sn) ]};
loop{(c,l), real_prodV3(c,v,l) = sum[(sn),par_crop(c,v)*matrix(l,'S2',sn)*par_risk_c(c,'y',sn) ]};
loop{(v,p,l), real_pri_S3(v,p,l) = sum[(sn),par_crop('pri_vs',v)*matrix(l,'S2',sn)
                                         *par_risk_c(v,'vs',sn) +(ord(p)/50)*matrix(l,'S2',sn)];}
loop{(v,p,l), real_pri_B3(v,p,l) = sum[(sn),par_crop('pri_vb',v)*matrix(l,'S2',sn)
                                         *par_risk_c(v,'vb',sn)+(ord(p)/50)*matrix(l,'S2',sn)];}

*ouverture de la boucle
loop(l,
*-----ANTICIPATION
*-----Prix des animaux
*---anticipation adaptative pour les prix moyens des années suivantes
    Npri(a,p)= Mpri(a,p);
    loop((a,p), pri_A(a,'1',p, mark)=par_pri(a,yearP,p));
    loop((a,p),Mpri(a,p)= Npri(a,p)+0.5*(par_pri(a,yearP,p)-Npri(a,p)));
    loop((a,t,p)$(ord(t) gt 1), pri_A(a,t,p, mark)=Mpri(a,p));
*----risques par rapport à ces anticipations
*favorable
    loop((a,t,p,mark)$(ord(t) gt 1), pri_A(a,t,p,'m_1')=Mpri(a,p)*(1+varM0(a,p));
*défavorable
    loop((a,t,p,mark)$(ord(t) gt 1), pri_A(a,t,p,'m_2')=Mpri(a,p)*(1-varM0(a,p));

*-----Rendement des productions végétales et prix des produits
*==année 1
*favorable
    loop((nfod,v,clim_t1),cropprod(nfod,v,'1', 'c1_1',clim_t2)=crop_fav3(nfod,v));
    loop((fod,p,clim_t2)$(ord(p) ge 2),Y(fod,'1',p, 'c1_1',clim_t2)= Y_fav3(fod,p));
    loop((v,p,clim_t2)$(ord(p) ge 2),pri_V(v,'1',p,'c1_1',clim_t2)=pri_V_fav3(v,p));
    loop((v,p,clim_t2)$(ord(p) ge 2),vcost(v,'1',p,'c1_1',clim_t2)=vcost_fav3(v,p));
*défavorable
    loop((nfod,v,clim_t1),cropprod(nfod,v,'1', 'c1_2',clim_t2)=crop_unf3(nfod,v));
    loop((fod,p,clim_t2)$(ord(p) ge 2),Y(fod,'1',p, 'c1_2',clim_t2)= Y_unf3(fod,p));
    loop((v,p,clim_t2)$(ord(p) ge 2),vcost(v,'1',p,'c1_2',clim_t2)=vcost_unf3(v,p));
    loop((v,p,clim_t2)$(ord(p) ge 2),pri_V(v,'1',p,'c1_2',clim_t2)=Pri_V_unf3(v,p));

*==année 2
*favorable
    loop((nfod,v,clim_t2),cropprod(nfod,v,'2', clim_t1,'c2_1')=crop_fav3(nfod,v));
    loop((fod,p,clim_t1),Y(fod,'2',p,clim_t1, 'c2_1')= Y_fav3(fod,p));
    loop((v,p,clim_t1),pri_V(v,'2',p,clim_t1,'c2_1')=pri_V_fav3(v,p));
    loop((v,p,clim_t1),vcost(v,'2',p,clim_t1,'c2_1')=vcost_fav3(v,p));
*défavorable
    loop((nfod,v,clim_t2),cropprod(nfod,v,'2', clim_t1,'c2_2')=crop_unf3(nfod,v));
    loop((fod,p,clim_t1),Y(fod,'2',p,clim_t1, 'c2_2')= Y_unf3(fod,p));
    loop((v,p,clim_t1),vcost(v,'2',p,clim_t1,'c2_2')=vcost_unf3(v,p));
    loop((v,p,clim_t1),pri_V(v,'2',p,clim_t1,'c2_2')=Pri_V_unf3(v,p));
    loop((v,p,clim_t1),vcost(v,'3',p,clim_t1,'c2_2')=vcost_unf3(v,p));
    loop((v,p,clim_t1),pri_V(v,'3',p,clim_t1,'c2_2')=Pri_V_unf3(v,p));

*-----période 1: AVRIL
*information réelle connue jusqu'au mois 2 (non compris)
loop((p,clim_t1,clim_t2),vcost(v,'1',p,clim_t1,clim_t2)=real_pri_B3(v,p,l));

```

```
loop((p,clim_t1,clim_t2),pri_V(v,'1',p,clim_t1,clim_t2)=real_pri_S3(v,p,l));
loop((fod,p,clim_t1,clim_t2)$(ord(p) lt 2), Y(fod,'1',p,clim_t1,clim_t2)= real_prodF3(fod,p,l));
```

*\*résolution du modèle*

SOLVE charolais\_april using nlp maximizing Z

\*-----période 2: MAI

*\*information réelle connue jusqu'au mois 3 (non compris)*

```
loop((fod,p,clim_t1,clim_t2)$(ord(p) lt 3), Y(fod,'1',p,clim_t1,clim_t2)= real_prodF3(fod,p,l));
```

*\* Les stocks jusqu'en début de période 2 doivent être identiques à ceux définis dans la résolution précédente (les décisions seront obligatoirement les mêmes en période 1=avril)*

```
loop((nc,p,clim_t1,clim_t2)$(ord(p) lt 3), NB.lo(nc,'1',p,clim_t1,clim_t2) =
                                         NB.l(nc,'1',p,clim_t1,clim_t2));
```

```
loop((nc,p,clim_t1,clim_t2)$(ord(p) lt 3), Nb.up(nc,'1',p,clim_t1,clim_t2) =
                                         NB.l(nc,'1',p,clim_t1,clim_t2));
```

```
loop((nc,p,clim_t1,clim_t2)$(ord(p) lt 3), LW.lo(nc,'1',p,clim_t1,clim_t2)=
                                         LW.l(nc,'1',p,clim_t1,clim_t2));
```

```
loop((nc,p,clim_t1,clim_t2)$(ord(p) lt 3), LW.up(nc,'1',p,clim_t1,clim_t2)=
                                         LW.l(nc,'1',p,clim_t1,clim_t2));
```

```
loop((v,p,clim_t1,clim_t2) $(ord(p) lt 3), ST.lo(v,'1',p,clim_t1,clim_t2)=ST.l(v,'1',p,clim_t1,clim_t2));
```

```
loop((v,p,clim_t1,clim_t2) $(ord(p) lt 3), ST.up(v,'1',p,clim_t1,clim_t2)=ST.l(v,'1',p,clim_t1,clim_t2));
```

*\*résolution du modèle*

SOLVE charolais\_may using nlp maximizing Z

\*----- période 3: JUIN

(...)

\*-----période 8:NOVEMBRE\_MARS

*\*information réelle connue : toute la première année*

```
loop((fod,p,clim_t1,clim_t2), Y(fod,'1',p,clim_t1,clim_t2)= real_prodF3(fod,p,l));
```

*\* Les stocks jusqu'en début de période 8 doivent être identiques à ceux définis dans la résolution précédente (les décisions seront obligatoirement les mêmes jusqu'en octobre)*

```
loop((nc,p,clim_t1,clim_t2)$(ord(p) lt 8),Nb.lo(nc,'1',p,clim_t1,clim_t2)=
                                         NB.l(nc,'1',p,clim_t1,clim_t2));
```

(...)

*\*résolution du modèle*

SOLVE charolais\_nov using nlp maximizing Z ;

\*-----SORTIES DU MODELES

EU3(l)=eu\_profit.l('1')+o;

MB3(l)=prof.l('1','c1\_1','c2\_1','m\_1')+o;

(...)

\*-----REINITIALISATION DU MODELE

```
loop((nc,p,clim_t1,clim_t2), Nb.lo(nc,'1',p,clim_t1,clim_t2)=0);
```

```
loop((nc,p,clim_t1,clim_t2), Nb.up(nc,'1',p,clim_t1,clim_t2)=100);
```

```
loop((nc,p,clim_t1,clim_t2), LW.lo(nc,'1',p,clim_t1,clim_t2)=par_ap('LWmin',nc,p));
```

```
loop((nc,p,clim_t1,clim_t2), LW.up(nc,'1',p,clim_t1,clim_t2)=par_ap('LWmax',nc,p));
```

```
loop((v,p,clim_t1,clim_t2), ST.lo(v,'1',p,clim_t1,clim_t2)=0);
```

```
loop((v,p,clim_t1,clim_t2), ST.up(v,'1',p,clim_t1,clim_t2)=ST_max(v));
```

```
loop(nc, Nb_0(nc)=NB.l(nc,'2','1','c1_1','c2_1'));
```

```
loop(calves, Nb_0(calves)=NB.l(calves,'2','11','c1_1','c2_1'));
```

```
loop(nc, LW_0(nc)=LW.l(nc,'2','1','c1_1','c2_1'));
```

```
loop(v, ST_0(v)=ST.l(v,'2','1','c1_1','c2_1'));
```

```
X_0(c)=X.l('1',c);
```

);

*\* fin de la boucle*

\*=====

\*=====EXPORTATION DES SORTIES

execute\_unload "simul\_clim\_S2.gdx" ,  
assol3,consoV3,venduV3, achatV3, (...)

;

execute 'gdxxrw.exe simul\_clim\_S2.gdx par=EU3.L rng=Economie!b4 '

execute 'gdxxrw.exe simul\_clim\_S2.gdx par=profst3.L rng=Economie!b15 '

(...)

;

▪ **ANNEXE 12: Exemples de Publications originales dans des congrès**

1) Mosnier, C., Agabriel, J., Lherm, M., Reynaud, A. (2008) Un modèle bioéconomique pour évaluer l'impact des aléas climatiques sur l'ajustement des décisions de production et sur les résultats des exploitations de bovins allaitants, Rencontres Recherches Ruminants, *in press*

2/ Mosnier, C., Agabriel, J. Lherm, M. Reynaud A. (2008). Assessing economic and technical impacts of weather events on French suckler cow farms dynamics: a dynamic recursive farm model, 12<sup>ème</sup> congrès de l'EAAE (Gand, Belgique)

# Un modèle bioéconomique pour évaluer l'impact des aléas climatiques sur l'ajustement des décisions de production et sur les résultats des exploitations de bovins allaitants

MOSNIER C. (1), AGABRIEL A. (1), LHERM M. (2), REYNAUD A. (3)

(1) INRA, UR2113 Herbivore, F-63122 Clermont-Ferrand

(2) INRA, UR506, Laboratoire d'économie de l'élevage, F-63122 Clermont-Ferrand

(3) TSE (LERNA-INRA), université de Toulouse 1, 31042 Toulouse Cedex.

**RÉSUMÉ :** La disponibilité en ressources alimentaires des troupeaux de bovins allaitants est sensible aux aléas climatiques. Cette étude cherche à estimer dans quelle mesure les aléas qui touchent les rendements des productions végétales affectent les résultats des exploitations lorsque leurs capacités d'ajustement sont prises en compte.

Un modèle d'exploitation dynamique bioéconomique a été construit et calibré pour représenter une exploitation moyenne du bassin allaitant produisant principalement des jeunes bovins. Des aléas sur les rendements d'intensité allant de -60% à +60% de leur valeur moyenne sont simulés. Cinq indicateurs rendent compte des ajustements réalisés au niveau des ventes d'animaux, de leurs rations, de la balance commerciale des produits végétaux et du foin récolté.

Les ajustements effectués évoluent en fonction de l'intensité de l'aléa. Cependant, les ventes animales sont maintenues pour des chocs d'intensité modérée aux dépens d'importantes modifications de la gestion des ressources végétales. Plusieurs années sont parfois nécessaires pour que le profit revienne à l'équilibre après un aléa, et, les pertes occasionnées par des aléas négatifs ne sont pas compensées par les gains accumulés lorsque la conjoncture est favorable.

## A dynamic bioeconomic farm model to assess impacts of weather shocks on production adjustment and on results of French suckler cow farms

MOSNIER C. (1), AGABRIEL A. (1), LHERM M. (2), REYNAUD A. (3)

(1) INRA, UR2113 Herbivore, F-63122 Clermont-Ferrand

**ABSTRACT:** Weather variability can threaten French suckler cow farms which rely on rather extensive forage production. However, flexibility of the production system can help farmer to face crop production shocks. This study aims at assessing how crop yield shocks impact on farms outcomes when adjustment capacity is taken into account.

An original dynamic recursive bio-economic farm model has been built and calibrated to represent an average farm producing charolais finished animals. Crop yield shocks of intensities ranging between -60% and +60% of their average values are then simulated. Five indicators are computed to appraise production adjustments following shocks, of animal sales, diet composition and diet weight gain, crop trade and haymaking.

The optimal mix of production adjustments evolves according to the intensity of shocks. However, preference for maintaining animal sales at the expense of crop product trade is found for moderate shocks. Several years are sometimes necessary for net profit to come back to equilibrium, and, profit gains in good years cannot totally compensate losses in bad ones.

### INTRODUCTION

Dans la plupart des élevages de bovins allaitants français, l'essentiel des ressources alimentaires du troupeau sont autoproduites. Ces productions végétales sont rarement irriguées et sont donc exposées aux aléas climatiques (Gateau et al., 2006). La moitié du Fond National de Garanties contre les Calamités Agricoles (FNGCA) revient aux élevages d'herbivores –principalement dans le Massif Central– pour compenser les pertes de production fourragères liées à la sécheresse (Boyer, 2008). Cependant, par le biais de ce fond, seules des pertes de production fourragère supérieures à 30% sont indemnisées, et seulement partiellement. Il revient donc aux éleveurs de s'auto-assurer. La gestion des risques comporte deux phases : la première consiste à anticiper et à prévenir les risques avant que l'aléa ne se produise, la deuxième à minimiser les pertes ou maximiser les gains supplémentaires une fois que l'aléa s'est produit. Bien que la prévention des risques soit une étape importante, notamment avec la création de stocks de sécurité, cette

étude focalise sur les ajustements de la production aux aléas climatiques et sur leurs conséquences économiques.

Ces ajustements peuvent être très divers. Tout d'abord, la demande alimentaire du troupeau peut être diminuée en réduisant le nombre d'animaux présents ou en restreignant temporairement leur ration (Blanc et al., 2005 ; Hoch et al., 2006). L'éleveur peut également jouer sur l'offre alimentaire en ajustant la gestion des surfaces fourragères, en adaptant les achats ou les ventes d'aliments.

La modélisation permet de représenter la complexité des interactions mises en jeu dans de tels processus d'ajustements. Les modèles bio-économiques dynamiques simulent à la fois le comportement économique de l'éleveur et l'évolution de l'exploitation. Si ce type de modèle a déjà été développé pour analyser les ajustements à des aléas climatiques (Lambert et al., 1989 ; Kingwell et al., 1993 ; Jacquet et Pluvinage 1997 ; Kobayashi et al., 2007 etc.), aucun n'a encore pris simultanément en compte les décisions tactiques concernant la taille et la composition du troupeau, la composition et le niveau énergétique des rations du bétail, la gestion des stocks de produits végétaux et des quantités fauchées et l'assolement.

Nos objectifs sont de développer un modèle dynamique d'exploitation d'élevage de bovins allaitants afin d'évaluer 1/ quels types d'ajustement parmi ceux précédemment cités sont privilégiés selon l'intensité des chocs climatiques et 2/ quelles sont leurs conséquences sur l'évolution des kg de viande produits et des résultats économiques.

## II. Description du Modèle

Le modèle développé (Mosnier et al., 2008) représente une exploitation spécialisée dans la production de bovins allaitants gérée par un éleveur. L'année simulée commence le 1<sup>er</sup> avril avec la mise à l'herbe, est divisé en intervalles mensuels et se termine le 31 mars.

### Le système de production

Le système de production considéré comprend un troupeau de bovins et des surfaces agricoles produisant des fourrages et des céréales.

### Le troupeau

Le troupeau est divisé en douze classes d'animaux définies par leur âge, leur sexe et leur conduite (engraissé ou maigre). Ces classes sont caractérisées par des variables de poids moyen et d'effectif. Les effectifs en début de mois résultent du différentiel entre les effectifs initiaux, la mortalité et les ventes d'animaux pour le mois précédent. D'une année sur l'autre, l'effectif d'une classe est reporté partiellement ou entièrement sur une autre classe afin de prendre en compte les processus de vieillissement (la classe des génisses d'un an devient celle des génisses de 2 ans) et le type de conduite (engraissé ou maigre). Dans le cas des veaux, leur effectif au 1<sup>er</sup> février dépend du nombre de femelles mises à la reproduction l'année précédente et des taux de gestation et prolificité. Le poids moyen en début de mois dépend du poids et du bilan énergétique du mois précédent prenant en compte les apports provenant de l'alimentation et les besoins pour l'entretien et la production. La composition et le niveau énergétique de la ration ne sont pas imposés a priori dans le modèle mais doivent cependant respecter des contraintes : 1/la valeur d'encombrement de la ration ne peut dépasser la capacité d'ingestion de l'animal, 2/le gain de poids résultant ne doit pas excéder +/-10% du gain de poids théorique et 3/le poids doit être compris entre +/-5% du poids théorique afin de ne pas menacer la santé et la reproduction des animaux.

Un sous modèle estime 1/ les courbes théoriques de croissances (INRA, 2007) et d'engraissement (Garcia et Agabriel, 2008) en fonction de l'âge des animaux, 2/ les besoins pour l'entretien, la gestation et la lactation en fonction de ce poids moyen et de la période de l'année (INRA, 2007).

### Les ressources végétales

Cinq types de produits végétaux -herbe, foin, maïs ensilé, concentré (grains) et paille- peuvent être produits à partir de cinq cultures -prairies permanente et temporaire, maïs, 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> céréales. Ces produits sont caractérisés par leur teneur en énergie, leur encombrement et leur quantité. Les quantités stockées en début de mois sont définies par le stock précédent et la balance entre quantités produites ou achetées, et, quantités consommées par le troupeau ou vendues. Les quantités produites découlent non seulement de l'assolement et du nombre d'hectares de prairies

fauchées à chaque période, mais aussi des conditions climatiques qui influent sur le rendement mensuel. Un sous modèle de croissance de la prairie est couplé afin d'obtenir les productions d'herbe mensuelles (Jouven et al., 2006). La production ainsi définie peut être utilisée totalement (consommation ou récolte) ou reportée au mois suivant auquel cas elle est amputée d'un coefficient qui prend en compte l'abscission de la biomasse desséchée.

### Les recettes et les charges

Les revenus réalisés l'année  $t$  sont estimés par le biais du profit net ( $\Pi_t$ ) qui correspond à la différence entre les produits annuels (ventes et aides de la Politique Agricole Commune) et les charges (coûts variables et fixes). Les prix de ventes des animaux prennent en compte les différentiels de prix selon l'âge et le type d'animal. On suppose par ailleurs que les prix de vente sont 20% inférieurs aux prix d'achats du fait des coûts de transaction et de transport.

### Le problème décisionnel

Selon la théorie économique, les éleveurs prennent leurs décisions de façon à optimiser une fonction *objectif*  $Z$  sur un horizon de planification donné (fig. 1).

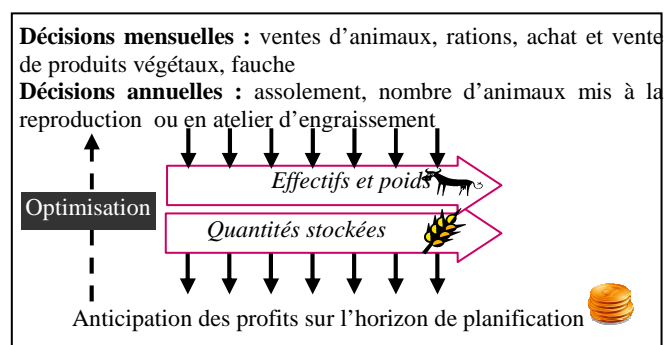


Figure 1: Processus décisionnel

L'*objectif* est ici de maximiser une fonction qui prend en compte le niveau des profits réalisés et leur distribution dans le temps sur une période de cinq ans. Nous supposons que l'éleveur préfère des revenus réguliers dans le temps et des revenus proches:

$$Z = \sum_{t=1}^T \left( \frac{1}{1+r} \times \frac{1}{1-\alpha} \times \Pi_t^{1-\alpha} \right) + \frac{1}{1+r} \times \frac{1}{1-\alpha} \times VS^{1-\alpha}$$

Où,  $r$  est le taux d'escompte,  $1/\alpha$  l'élasticité de substitution inter-temporel et  $VS$  le différentiel entre la valeur des stocks à la fin et au début de l'horizon de planification

Par ailleurs, nous faisons l'hypothèse que l'éleveur anticipe des années climatiques 'moyennes' mais qu'il peut réviser ses décisions lorsqu'il acquiert de nouvelles informations quant à la production réelle. Ceci est représenté au moyen d'une suite récursive d'optimisations. Le modèle est réinitialisé chaque mois en introduisant les rendements réels. Une séquence de  $n$  années est ainsi simulée.

### Contraintes structurelles

Les choix des éleveurs sont limités par des contraintes structurelles. L'ensemble des surfaces allouées aux différentes cultures doit ainsi être égale à la Surface Agricole Utile (SAU) de l'exploitation et la surface en prairies permanentes à celle de la Surface Toujours en Herbe (STH).

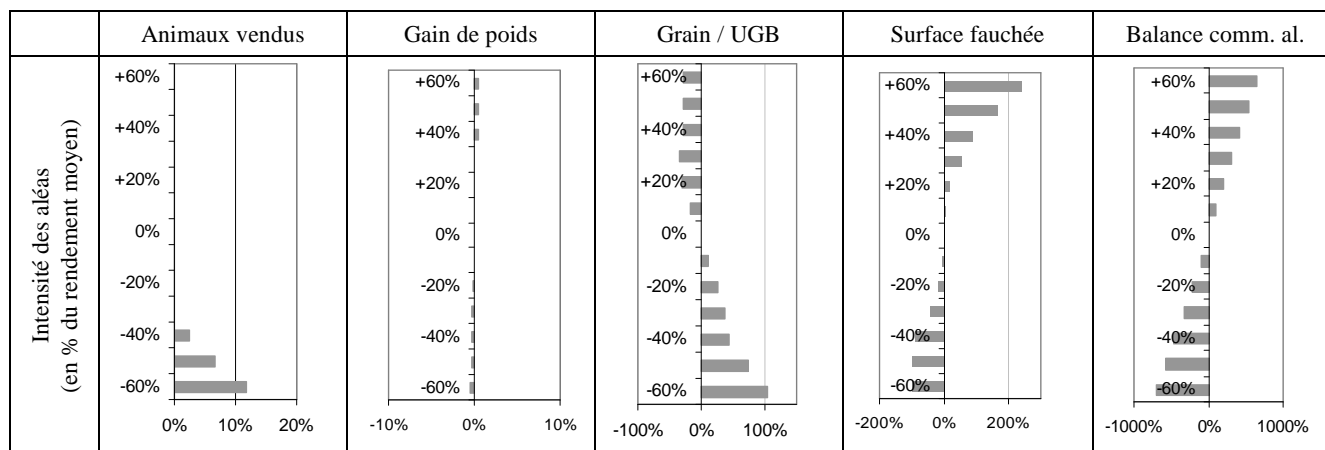


Figure 2 : Variation des indicateurs entre l'année de l'aléa de rendement et l'année de référence (en %)

Les contraintes de travail et de bâtiments sont construites à partir des hypothèses formulées par Veysset et al (2005). Une Unité Gros bovin est considérée comme étant équivalente en temps de travail à deux hectares de céréales. Les principales contraintes relatives à la capacité des bâtiments concernent le nombre maximal de vêlages qui peut être effectué à l'intérieur et les quantités de produits végétaux pouvant être stockées.

### III. Application

#### Paramétrage et sorties du modèle à l'équilibre

Un panel de 25 exploitations produisant principalement des taurillons gras sur la période 2000-2006 a été extrait de la base de données de l'Unité d'Économie de l'Élevage de l'INRA de Theix. Ce type d'exploitation, bien qu'il ne soit pas le plus caractéristique de la zone, nous est paru intéressant dans la mesure où les cycles de production des animaux sont plus longs et autorisent donc une plus grande flexibilité au niveau du type d'animaux vendus (ils peuvent vendre aussi du maigre). Le modèle a été paramétré afin que les caractéristiques structurelles (150 ha de SAU, 81 ha de STH, 12 ha de maïs max., 95 vêlages max.), les prix des intrants, des produits vendus et des charges diverses, les rendements moyens des céréales et les caractéristiques des animaux (charolais) soient proches de ceux observés dans ces exploitations. La simulation d'une succession d'années moyennes tant du point de vue des rendements (moyenne 1990-2006) que des prix (moyenne 2000-2006) sous le régime PAC de 2004, donne un état stationnaire caractérisé par :

Tableau 1 : Principales sorties du modèle à l'équilibre

Ha de prairies	Ha de maïs	Ha de céréales	chargement	Animaux vendus gras	profit Net
108	12	30	1.36	100 %	40k€

#### Scénarios

Treize simulations sont effectuées sur  $n$  années ( $n$  suffisamment grand pour que le système retourne à l'équilibre). Un aléa sur les rendements moyens des productions végétales (fourrage et céréales) est introduit à la troisième année ( $n3$ ) de chaque simulation : les rendements sont modifiés de -60% à +60% par rapport à leur niveau moyen, de façon uniforme sur l'année. Les rendements des autres années sont supposés 'moyens'. Les

prix utilisés correspondent à la moyenne 2000-2006 et la PAC est celle de 2004 (cette étude n'est pas prospective).

### Résultats

#### Ajustement des décisions l'année de l'aléa

Cinq indicateurs sont calculés pour apprécier les ajustements de gestion de la production en  $n3$ . Ils correspondent aux taux de variation entre  $n3$  et l'année de référence (état stationnaire) des variables suivantes :

Tableau 2 : Caractéristiques des indicateurs utilisés

Nom	défini par :
Animaux vendus	Nombre d'animaux vendus* poids
Grain / UGB	Kg de concentré par an et par UGB
Gain de poids	Somme des GMQ réalisés par l'ensemble des animaux sur l'année
Surfaces fauchées	Nombre de coupe* ha fauchés
Balance commercial en aliment	vente – achat de foin, grain et paille

Pour des aléas dont l'intensité est comprise entre +/- 30 % des rendements moyens, les quantités vendues sont maintenues. Ce sont les achats et ventes de produits végétaux, les surfaces de foin récoltées et la composition des rations (en modifiant la part des concentrés) qui permettent de tamponner les variations de rendements (fig 2). Les gains de poids des animaux varient peu et se limitent aux multipares. Lorsque ces aléas sont en deçà de -30%, des ventes anticipées de jeunes génisses ont lieu.

#### Évolution de la production de viande

La production de viande (figure 3) est peu améliorée lorsque la conjoncture est favorable, probablement parce qu'à l'équilibre les animaux sont déjà vendus au poids maximal autorisé. Pour des chocs négatifs, on observe des baisses de production pour l'année  $n3$  à partir d'aléas inférieurs à -30% (ventes forcées).

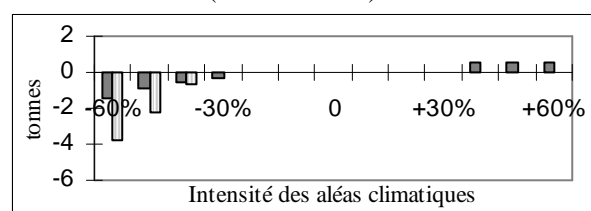
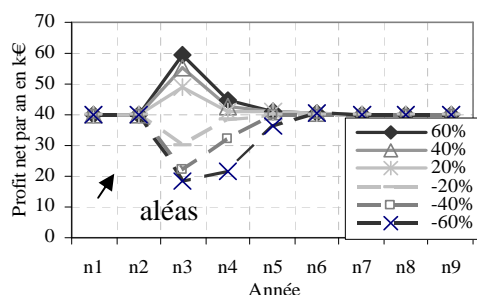


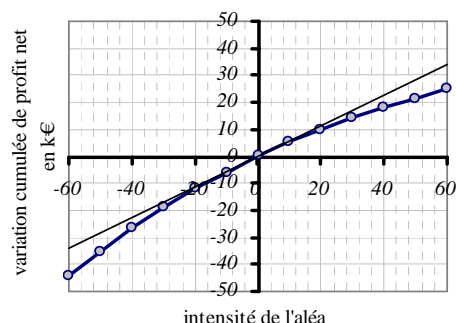
Figure 3 : Évolution de la production de viande. Les bâtons noir et gris représentent resp. le différentiel de production entre  $n3$  et l'année de référence, et, le différentiel cumulé entre les séquences sans et avec aléa

### Évolution des revenus

Plus l'intensité de l'aléa est importante, plus le profit net s'éloigne de sa valeur d'équilibre en  $n3$  et plus le temps nécessaire pour retourner à cet équilibre augmente (fig. 4). Par ailleurs, les gains supplémentaires réalisés lors des bonnes années ne compensent pas totalement les pertes accumulées lors des mauvaises, surtout lorsque les aléas deviennent importants (fig. 5).



**Figure 4 :** Évolution des profits nets au cours du temps en fonction de l'intensité de l'aléa de rendement réalisé en  $n3$



**Figure 5 :** Pertes et gains totaux de profit net en fonction de l'intensité de l'aléa. Les cercles représentent le différentiel de profit entre des séquences sans et avec aléa. La droite est la tangente à la courbe à l'origine.

## IV. Discussion

### Optimalité des Ajustements

Cette application montre la progressive mobilisation des différentes sources d'ajustement de l'exploitation en fonction de l'intensité de l'aléa. Globalement, une modification de la gestion des ressources alimentaires est ici préférée à une variation des ventes d'animaux. Cela rejoint en partie les observations faites par Veysset et al (2006) suite à la sécheresse de 2003. Cependant, il faut tenir compte du fait que le modèle ne peut guère augmenter sa production de viande en cas d'années favorables étant données que les bornes supérieures de travail, de nombre de vêlage et de poids des animaux sont quasiment atteintes à l'équilibre. De plus, les risques ne sont pas anticipés. Avec des stocks de sécurité, l'impact d'aléas modérés seraient probablement moindre.

Par ailleurs, ces ajustements ne sont optimaux que par rapport au contexte considéré. Une modification des prix, de la PAC, ou du type d'exploitation peuvent en effet changer les avantages relatifs d'un type d'ajustement par rapport à un autre. Un marché des aliments ou de la viande bovine plus difficile engendrerait ainsi des ventes forcées d'animaux plus importantes. Une PAC subventionnée moins les animaux gras favorise également la vente d'animaux plus jeune en période de pénurie alimentaire.

### Capacité des exploitations à faire face aux aléas climatiques

L'application proposée permet d'apprécier la sensibilité des profits aux aléas de rendement des cultures. Si les profits sont significativement affectés par ces aléas (une baisse de 20% des rendements entraîne une diminution des profits nets cumulés sur les années suivant l'aléa de 25% cf fig. 5), ils reviennent à l'équilibre après quelques années (fig 4). En réalité, la capacité des éleveurs à supporter ces crises dépend des besoins incompressibles de la famille (Alary, 2000), de la capacité des éleveurs à contracter des emprunts et à les rembourser et de la présence d'une épargne de sécurité. Elle peut également être affectée par la succession et de la combinaison de différents types d'aléas (Sabates-Wheeler et Haddad, 2005). Enfin, afin d'analyser la vulnérabilité des exploitations aux aléas (ou la probabilité de faillite), il serait nécessaire de prendre en compte les probabilités d'occurrence des différents chocs climatiques pour estimer leur exposition aux risques.

## CONCLUSION

Le modèle développé simule pour une exploitation de bovins allaitants quels sont les ajustements optimaux au niveau de la gestion du troupeau et des ressources végétales à mobiliser pour faire face aux aléas de rendement des cultures. Selon l'intensité des aléas différents leviers sont utilisés. La gestion des ressources végétales est cependant préférentiellement modifiée dans le but de maintenir les ventes animales. Un découplage des primes et un marché plus difficile pourraient cependant faire pencher la balance vers davantage de ventes forcées. Les profits sont très significativement affectés par ces chocs climatiques. Les gains de profit accumulés les bonnes années ne compensent pas totalement les pertes, si bien que l'on peut craindre une fragilisation des exploitations si la fréquence événements extrêmes augmente. Afin d'étudier plus précisément les conséquences que pourraient avoir le changement climatique, nous allons intégrer les mécanismes d'anticipation des risques.

- Alary V. 2000. Les cacaoculteurs camerounais face au risque, (eds) L'Harmattan
- Blanc F., Bocquier F., Agabriel J., Dhour P., Chilliard Y., 2006. Anim. Res. 55 (6), 489-510
- Boyer, P. 2008. Notes et Etudes Econ. 30, 7-32
- Garcia, F., Agabriel, J., 2008. J. of Agr. Sc., in press
- Gateau, C., Novak, S., Kockmann, F., Ruget, F., Granger, S., 2006. Fourr., 186, 257-269
- Hoch T., Begon C., Cassar-Malek I., Picard B., Savary-Auzeloux I. 2003. INRA Prod. Anim. 16 : 49-59
- INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins, (eds) QUAE
- Jacquet, F., Pluvinage, J., 1997. Agr. Syst. 53, 387-407
- Jouven, M., Carrère, P., Baumont, R., 2006. Grass and For. Sc., 61: 125-133
- Kingwell, R.S, Pannel, D.J., Robinson, S.D., 1993. Agr. Econ., 8, 211-22
- Kobayashi, M., Howitt, R.E, Jarvis, L.S, Laca, E.A., 2007. Amer. J. Agr. Econ. 89 (3), 205-817
- Lambert, D.K. 1989. West. J. of Agr. Econ. 14(1) 9-19
- Mosnier, C, Agabriel, J, Lherm, M, Reynaud, A. 2008. Acte du 12<sup>ème</sup> congrès de l'EAAE, Gand, août 2008
- Veysset, P., Bebin, D., Lherm, M., 2005. Agr. Syst., 83,179-202
- Veysset 2007, Actes des journées AFPF mars 2007, Paris
- Sabates-Wheeler, R., Haddad, L. 2005. <http://www.oecd.org/dataoecd/33/60/36570676.pdf>

# ASSESSING ECONOMIC AND TECHNICAL IMPACTS OF NON EXPECTED WEATHER EVENTS ON FRENCH SUCKLER COW FARMS DYNAMICS: A DYNAMIC RECURSIVE FARM MODEL

Mosnier C.<sup>1</sup>, Agabriel J.<sup>1</sup>, Lherm M.<sup>2</sup>, Reynaud A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> INRA, UR1213 Herbivore, F-63122 Clermont-Ferrand, Country

<sup>2</sup> INRA UR506, Laboratoire d'économie de l'élevage, F-63122 Clermont-Ferrand

<sup>3</sup> INRA, TSE (LERNA), Université de Toulouse 1, 31042 Toulouse Cedex

**Abstract**— Weather variability can threaten French suckler cow farms which rely on rather extensive forage production. However, flexibility of the production system can help farmer to face crop production shocks. This study aims at assessing how crop yield shocks impact on farms outcomes when adaptive capacity is taken into account. Our objectives are to develop a dynamic model which enables us 1) to predict the optimal mix of production adjustments to face crop yield shocks, 2) to quantify how far the system moves from the equilibrium and how long it takes to return and 3) to measure impact of shocks on economic results when adaptive capacity is taken into account.

An original dynamic recursive bio-economic farm model integrating detailed technical and biological constraints and coupled with biological sub-models has been built and calibrated to represent an average farm producing charolais finished animals. Crop yield shocks of intensities ranging between -60% and +60% of their average values are simulated in between average years.

A preference for maintaining animal sales and animal live weight at the expense of crop products trade balance is found. Thought, when intensities of shocks get higher, forced sales and important variations of the area of pasture cut are observed. Essential of loss (or gain) of net profit is felt the year of the shock but can be remnant for several years. In addition, gains for good years do not totally compensate loss of symmetric bad ones. Consequently, farms capacity to face risk could be weakened over time. Minimum consumption needs, probability distribution of shocks and successions or combinations of shocks would have thought to be taken into account to assess real capacity of farms to maintain over time.

**Keywords:** livestock farm model, dynamic recursive model, crop yield variability

## I. INTRODUCTION

The 113 000 farms producing suckler cows supply around 55% of the beef production in France and represent more than one third of all European suckler cows. Their relative extensive management system helps maintaining large areas under grassland which provide numerous environmental amenities. However, their dependence on pasture crops makes them sensitive to weather variability [1]. Half of the French fund for agricultural calamities is allocated to

herbivorous farms. Most of indemnities paid correspond to damages caused by drought on forage crops, mainly in the Massif Central area [2]. Although this public fund is to evolve soon, no insurance alternative is yet available. To some extent, this can be explained by the difficulties to understand and to assess weather events impacts on livestock systems since numerous sources of flexibility can help farmers to cope with these shocks. To face supply shortage, first, animals are able to temporary cope with underfeeding without a tremendous effect on production, under certain conditions, thanks to body reserve [3] or to compensatory growth [4]. Second, decreasing the stocking rate can help lowering herd alimentary needs. Eventually, buying more (or selling less) fodder or concentrate feeds than was planned initially [5] can compensate animal feed shortage. Neglecting those farmers' adaptive capacity can lead to miscalculate shocks impacts [6]. In addition, it is of great interest for farmers to gauge “*how to respond tactically and dynamically to unfolding opportunities or threat to generate additional income or to avoid losses*” [7].

This study aims at predicting how crop yield shocks impact on farm outcomes when adaptive capacity is taken into account.

Modelling offers a comprehensive way to disentangle the complex interactions and mathematical programming (MP) appears relevant to appraise the numerous technical alternative choices and the many constraints existing in farm management. Since suckler cow production cycle lasts several years, decisions may impact not only on the current production and profit, but also on future farm outcomes. Our objectives are then to develop a dynamic model which enables us 1) to predict the optimal mix of production adjustments to face crop yield shocks, 2) to quantify how far the system moves from the equilibrium and how long it takes to return and 3) to measure impact of shocks on economic results when adaptive capacity is taken into account.

The remainder of this article is organized as follows. We expose the modelling approach and model specification in the first two sections. In the following section, we apply this model to a typical suckler cow farm located in the north of the French Massif Central and we simulate several crop yield

production shocks with intensity ranging from -60% to +60%. We conclude with a discussion of our method and results.

## II. MODELLING APPROACH

Farm models detailing biotechnical specifications can be divided into two broad categories: simulation models and optimisation models. Whole farm model simulation necessitates defining decision rules into a management sub-model [8; 9; 10]. However, these rules are set for a specific context and might turn out to be irrelevant when changes occur. We therefore opt for a bio-economic model (see Janssen et al., [11] for a recent review) which tightens decision variables to a single objective function independent of environment conditions. Static bio-economic livestock models [12; 13; 14; 15] compare farm equilibriums under different conditions. However, contrary to dynamic models which take time explicitly into account, static models do not give the opportunity to study farm responses outside an optimal steady state. Consequently, perturbation caused by a temporary shock or the transition path between two equilibriums when facing permanent shocks cannot be studied. We therefore follow [16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23] by representing a sequential decision-making process to permit progressive adjustment when new information becomes available. These sequential dynamic models proposed either a fairly small number of variables to be adjusted or limited periods where these adjustments can be made. We want here to take into account the monthly management of a larger number of animal categories existing within the cattle herd, of animal live weight, and of conserved feed and standing grass. Programming methods used in these models, namely Stochastic Dynamic Programming (SDP) or Discrete Stochastic Programming (DSP), are limited respectively by the number of state variables, that is to say the dynamic variables, or by the number of stages where decisions can be readjusted [24]. Model size indeed explodes when variables or stages increase. We therefore adopt a dynamic recursive framework which consists of a sequence of deterministic multi-periodic models.

## III. MODEL DESCRIPTION

The model is formulated to represent average French suckler cow farms. Such farms consist of beef cattle production based on a suckler cow herd and of grain and forage crop production. This production system must be managed by a farmer over a finite horizon of  $T$  years. Each year, indexed by  $t = \{1, \dots, T\}$  is divided into monthly intervals indexed by  $month = \{1, \dots, 12\}$ . The ‘production year’ starts in April, at the beginning of the grazing season.

### A. The production system

The production system is described here distinguishing farmer herd management and farmer crop production management.

*Herd dynamics:* Twelve annual animal classes characterized by sex (male, female or castrated male), age (from new born to adult) and by production objective (fattening or storage), are introduced to cover the range of animal production in the studied area (table 2). Classes, indexed by  $a$ , are described by two endogenous dynamics variables: the number of animals and their average live weight (24 state variables in total).

Herd management consists in controlling those dynamics thanks to the 1) monthly control of animal sales, 2) monthly choice of animal diet composition and diet energy content, 3) part of cows for reproduction each year, and 4) annual fattening objectives.

Table1: animal classes introduced in the model

Sub class		stored animals					Fattened animals				
Class name		calves	yearlings	2 y.o. heifer	2 y.o. steer	Primiparous cow	Multiparous cow	2 y.o bull	3 y.o steer	3 y.o heifer	Fat. Cow
		age in months	min	0	2	14	14	26	>38	14	26
	max	2	14	26	26	38	>38	20	32	32	>38
Live weight in kg	Min	45	93	354	445	499	618	445	662	499	618
	Max	79	466	542	716	629	683	711	801	689	757

The number of animals in each class is initialised for the first period of the planning horizon. Then intra year dynamics are defined by the motion function  $f$ . This function draws the balance between past number of animals ( $NB$ ), sales decisions ( $AS$ ), and mortality ( $mort$ ) (1).

$$NB_{a,t,month} = \begin{cases} f_{a,t,month-1}(\cdot) \\ NB_{a,t,month-1} \times (1 - mort_{a,month-1}) - AS_{a,t,month-1} \end{cases} \quad (1)$$

At the beginning of each year (in April), animals change from a class to another because of: 1/ natural ageing process (the number of 1 year old heifers at the end of a year becomes the initial number of 2 year old heifers the following year or calves number depends of the cows number) modelled by a transition matrix ( $trans$ ), 2/ fattening ( $SFAT$ ) since the model can choose for instance to convert part of the number of two year old heifers into fat heifers (2) and the

remaining part into primiparous cows (3) and 3/ reproduction objectives (*Rrate*) since limitation of the percentage of reproductive females for mating can reduce the number of calvings in February (4).

$$NB_{a\_st,t,'april'} = \sum_a [trans_{a,a\_st} \times f_{a,t-1,'month-1'}(\cdot) \times (1 - SFAT_{a,t})] \quad (2)$$

$$NB_{a\_fat,t,'april'} = \sum_a [trans_{a,a\_fat} \times f_{a,t-1,'march'}(\cdot) \times SFAT_{a,t}]$$

$$NB_{a\_calf,t,'febr'} = \sum_a^{(3)} [trans_{a,a\_calf} \times NB_{a,t-1,'march'} \times Rrate_t]$$

Where *a\_st*, *a\_fat* and *calf* are animal sub classes corresponding respectively to stored animals, fattened ones and calves.

Some additional constraints are added to make the model more realistic. Multiparous cows do not undergo an ageing process in our model; consequently, a minimum cull rate is introduced. Moreover, the number of mature cows must be high enough to suckle young animals until weaning in October and no sale of calves is allowed before their fifth month which corresponds to early weaning. As few market opportunities exist for 2 year old stored steers, we assume they cannot be sold.

Animal live weight dynamics (*LW*) are expressed in the same way: initialisation of the live weight for the first period, intra-annual dynamics described by a motion function which depends on the average daily weight gain (*ADG*) realised during each day (*day*) of the month considered (5), and inter year dynamics defined by a transition matrix.

$$LW_{a,t,month} = LW_{a,t,month-1} + day_{month-1} \times ADG_{a,t,month-1} \quad (5)$$

This dynamic variable is bounded between +/-5% of the theoretical live weight (estimated in a sub model described below) which gives the model some flexibility without, according to expert knowledge, threatening reproduction performance and animal health. At the same time the *ADG* can vary from +/-10% of the theoretical gain in order to allow some compensatory growth. For mature cow, we set gain interval at [-0.5; +0.4] kg per day. The *ADG* value is a function of the daily net energy balance (*NEB*). *NEB* is the difference between on the one hand net energy intake which depends on quantity of feed ingested by each animal and on their energy content, and, on the other hand, net energy requirement that comprises net energy for production (lactation and pregnancy) and net energy to maintain (*NEM*) live weight constant. A correction term is applied to take into account the differential between theoretical live weights and simulated ones (an animal that weighs more will have higher maintenance needs). Diets are not only characterized by their energy content but also by their

fill value (measured by the maximum quantity of this feed a reference animal can ingest) which cannot exceed the intake capacity of the animal. When animals are fed indoors, we consider that fill value of diets proposed by the model have to be close to the intake capacity of animals in order to satiate them (a small percentage can be covered by straw intake).

The animal sub model calculates theoretical live weight and animal requirement of the animal at each period according to INRA (2007) and Garcia and Agabriel (2008) equations. This sub model simulates animal growth assuming a calving occurs on 1st February thanks to Gompertz functions. The theoretical putting on weight of females (cows and three year old heifers) at fattening is calculated as the difference between cumulated gain since beginning of fattening and maximum live weight. Reproduction and maintenance requirements as well as intake capacity are set monthly according to theoretical live weight. Maintenance needs at pasture are increased by 20 % at pasture to account for higher activity.

*Crop production management:* We consider the five most widespread products in the farming systems studied: grazed grass, hay, maize silage, grain and straw which can be made from four crop productions: permanent and temporary pastures, two cereal crops (to enable sowing cereal crops two years in a row) and maize crop (table 3). These products are described by parameters of qualities (fill value and energy content) and by dynamic variables related to the quantity stored by the farmer.

Crop management consists in controlling those dynamics thanks to the 1) monthly sales and purchases of crop products, 2) monthly choice of haymaking, and 3) annual allocation of area to the different crops

Two different kinds of dynamics are defined for crop products stock. First, stocks of conserved (*STv\_ng,...*) produce are classically defined as the balance between inputs (production *VH* and purchase *VB*) and withdrawals (herd consumption *VC* and sale *VB*) plus the remaining stock of the previous period (6). It is assumed that maize silage can not be traded and that stock quantity can not exceed farm storage capacity for each product. Second, quantity of standing grass available in one period (*STv\_g,...*) corresponds to the remaining (after abscission *abs*) balance between previous biomass stock, grass produced *GP*, quantity of grass cut for haymaking *CUT* and herd consumption (7). The coefficient of abscission takes into account losses due to average ageing process and to environmental conditions when grass use is delayed to the following month.

$$ST_{v\_ng,t,month} = \begin{matrix} +ST_{v\_ng,t,month-1} + VH_{v\_ng,t,month-1} + VB_{v\_ng,t,month-1} \\ -VC_{v\_ng,t,month-1} - VS_{v\_ng,t,month-1} \end{matrix}$$

(6)

$$ST_{v\_g,t,month} = \begin{bmatrix} ST_{v\_g,t,month-1} + GP_{t,month} \\ -CUT_{t,month-1} - VC_{v\_g,t,month-1} \end{bmatrix} \times abs_{month-1}$$

(7)

Crop product quantities harvested depend on crop acreage decisions ( $X$ ) and on crop yields. Harvested hay quantity corresponds to the quantity of grass cut penalised by a coefficient of loss (20%) because of transport, haymaking etc. The model is then free to decide the quantity cut per month within the limit of the grass availability. A transition matrix ( $rot$ ) defines the possible successions between crops (8), hence reflecting agronomic constraints (for instance, maize can not be sown two years in a row). In addition, permanent pasture acreage is assumed to remain fixed whereas temporary pasture is implanted for at least five years. Only one fifth of the temporary pasture area can then enter the crop rotation each year. Eventually, the quantity of feed product consumed by the herd is proportional to monthly animal intakes and to animal number. Straw which is considered as litter is proportional to the herd size.

$$X_{t,c} \leq \sum_{c2} rot_{c,c2} \times X_{t-1,c2} \quad (8)$$

The quantity and quality of standing biomass produced each month per hectare is calculated thanks to a sub model of herbage growth [27]. One cut per month at 3 cm above ground level (the length of standing grass beef cattle can graze) is simulated to approach monthly production quantity and quality. The abscission parameter is estimated by dividing for each month the amount of biomass harvested for the current month when there was no cut the month before, by the sum of biomass harvested if there were a cut in the previous and current months. To simplify our model, grass quality of the sward is averaged according to the proportion of the different structural compartments 3 cm above ground level, and hay quality is supposed fixed.

### B. Structural constraints

Decisions are restricted by structural constraints regarding land, labour and building. Total acreage allocated to the different crops must be equal to farm usable agricultural area and the acreage of permanent pasture must remain stable. We follow Veysset et al [12] to represent labour and building constraints. First, we limit the number of livestock units and crop growing activities “based on the principle that one livestock unit is equivalent to two hectares of cereal crops in labour terms”. Second, we consider that the

main building constraint is linked to the number of calves since they are born indoor.

### C. Profit and costs

We assess farm earnings by computing their net profit. It is calculated as the difference between yearly products (sales ‘ $SALE$ ’ and Common Agricultural Policy payments ‘ $TOTPREM$ ’) and total costs (variable and fixed costs). Receipts from animal sales take into account the number of animals sold, their live weight at this period and their price ( $priA$ ). These prices are defined per year and per month, which enables us to introduce price modulation according to theoretical live weight (price per kg usually decreases with live weight for stored animals and increases for finished ones) and to temporary or permanent shocks on prices. Farmer revenue from crop product sales is the combination of quantities of crop products ( $VS$ ) and their price ( $priV$ ) (9).

$$SALE_t = \begin{matrix} \sum_{a,p} (AS_{a,t,month} \times LW_{a,t,month} \times priA_{a,t,month}) \\ + \sum_{v,p} (VS_{v,t,month} \times priV_{v,t,month}) \end{matrix} \quad (9)$$

It is important to introduce CAP payments since they strongly influence production decisions in suckler cow farms [12]. The CAP premium specification is flexible enough to take into account the different kinds of direct payments belonging to the first pillar (production support) which were effective between 1998 and 2008 (10). These payments encompass Arable Area Payments ( $AAP$ ), Product Specific Payments ( $PSP$ ) and Single Farm Payment ( $SFP$ ). Firstly, under the  $AAP$  scheme; different premiums are given according to the area allocated to each crop activity (except fodder crops).  $PSP$  comprise special premiums for suckler cows, male premium, slaughtered animals and extensification payment. Under the  $SFP$  scheme, farms are allotted payment entitlements considered as constant. Direct payments are reduced in proportion to the modulation rate ( $mod$ ). However, 5 000€ per farm remain free of modulation.

$$PREMTOT_t = \begin{matrix} 5000 + \\ \left[ AAP_t + PSP_t + sfp - 5000 \right] \times (1 - mod) \end{matrix} \quad (10)$$

Variable costs can be divided into crop production and animal production costs. Crop production costs include costs assignable to the area of each crop activity, haymaking costs corresponding to the quantity of grass cut, insurance and fuel costs proportional to the total area of land farmed. Animal production costs comprise value of purchased feeds and diverse costs such as veterinary or feed complementation (vitamins, minerals etc.) proportional to the number of livestock units.

#### D. The decisions problem of the farmer

*The objective function:* In accordance with classical economic theories, our multi-periodic optimisation model assumes that farmers take their decisions to maximise their expected utility of profit  $U$  over a 5 five years planning horizon  $T$  (11). Farmers have then to formulate preferences on profit ( $U$ ) distribution over years. Inter temporal choices involve tradeoffs among benefits occurring at different points in time. They typically include a discount factor on future utility, called Rate of Time Preference (RTP), to take into account farmer's time value of money or 'impatience', and an elasticity of inter-temporal substitution (EIS) which quantifies a 'decision maker desire to smooth out the stream of utility over time so one unit of discounted utility in each period is better than two units of discounted utility in a single period' [28] In the present case, we suppose then that the wealthier the farmer is, the less averse to inter temporal variations he will be and we specify a power functional form for the utility function that corresponds to a Constant Relative Risk Aversion utility function [29].

$$U = \sum_{t=1}^T \left( \left( \frac{1}{1+r} \right)^{t-1} \times \frac{\Pi_t^{1-\alpha}}{1-\alpha} \right) + \left( \frac{1}{1+r} \right)^T \times \frac{VS^{1-\alpha}}{1-\alpha}$$

(11)

Where  $r$  is the discount rate factor,  $1/\alpha$ =EIS, and  $VS$  residual value of stocks at the end of the planning horizon

*Sequential decisions:* Farmers are supposed to make their decisions according to the current state of their production system and to their current expectation of future outcomes over the planning horizon  $T$ . When new information becomes known, farmers adjust their expectations and then their decisions. We follow [30] and [19] in modelling this double ability of farmers to forecast and to adjust their plan by the mean of a recursive sequence of dynamic optimisations. Let's be  $n \{1, \dots, N\}$  a year of the period of simulation and  $t \{1, \dots, T\}$  a year of the planning horizon the farmer is supposed to anticipate and  $S$  a set of state variables characterizing farm at each time. Results corresponding to the optimisation  $n$  are then  $\{S_{n+1}, \dots, S_{n+T}\}$ .  $S_{n+(t+1)}$  becomes then the initial resources of the optimisation  $n+1$ . Updated forage production information is introduced at this stage. The process is repeated  $N$  times. Hence what we would observe from the farmers' strategies along the period simulated is  $\{S_{1+t}, \dots, S_{n+t}, \dots, S_{N+t}\}$ .

## IV. CASE STUDY

We apply the model to typical farms located in the northern area of the Massif Central, a well known area for its suckler cow charolais breed production.

A sample of 25 farms that produce mainly charolais young bulls has been extracted from the 'charolais farms' database [31] over the period 2000-2006. Calibration of this model consists in setting parameters to simulate a farming system with structural, economic and biological characteristics close to those of observed farms. Model outputs are then evaluated against technical and economic variables of this dataset.

#### A. Parameterization and calibration

*Animal production:* Parameters used in the animal sub model refer to the charolais breed ones [25; 26]. Cull rate (0.24), number of calves born per reproductive female (0.96), sex ratio (0.5) and annual mortality rates (9% for calves, 1% for the others) correspond to average annual records of the 'charolais' database.

*Crop production:* Herbage growth sub model parameters are calibrated to fit regional average annual production data ( $R^2=0.13$ ) and weather data are collected from Nevers meteorological station (Meteo France 58160001) (appendix1). Cereal crop yields are set upon 'charolais' database records (appendix2). Fill value and energy content of maize, grain and hay are set according to INRA (2007) (CC0010, FV1770, FF0500).

*Cost and profit:* Input costs, and output prices are assessed on the basis of the panel dataset over the period 2000-2006. We assume that a crop product price is 20 % higher if the farm buys it (compare to sell it). Animal prices have been regressed on observed live weight per year and per animal (appendix3). Available data regarding harvest cost is expressed per ha whereas haymaking cost is formulated in € per ton in our model. As a consequence, cost per ton is estimated as the ratio between haymaking cost per ha and average abundance of grass per period.

*Objective function:* We set RTP value at 96% per year and EIS at 7.14 according to estimation based on aggregate annual farm data using consumption and asset return of U.S farms [32].

*Structural characteristics:* Farm characteristics are averaged upon the 25 studied farms oriented toward the production of young bulls (table 2). However, storage capacity is not filled in the database; values are set therefore in order to be not too restrictive.

Table 3 : Evaluation of model outputs over the period 2000-2006 against a panel dataset

	Average simulation	Average range observed*	R2**	
Crop production area	% pasture	72	[71 ; 93]	/
	% of cereals	20	[6 ; 24]	/
	% of maize	8	[0 ; 8]	/
% of pasture cut	31	[35 ; 54]	3%	
Stocking rate	1.33	[1.10 ; 1.49]	32%	
kg of animal sold	409	[276 ; 442]	33%	
% of young animals fattened	66	[45 ; 93]	60%	
Live weight at sales	3 y.o. heifer	689	[657; 768]	/
	Young bull	711	[600; 776]	/
	Fat cow	757	[727; 813]	/
Concentrate feed consumed in kg /LU	476	[430; 1043]	67%	
Economic results in €/ha	GM animal product	768	[555 ; 801]	72%
	variable costs- cereal product	720	[498 ; 773]	80%
	CAP	324	[172 ; 367]	30%
		319	[243 ; 382]	91%

\*Average observation plus or minus one average between farms standard deviation

\*\*evolutions of simulated variables over the period 2000-2006 are regressed on average observed ones

### B. Evaluation of model outputs against a panel dataset

The main features of the simulated system meet our requirement since the average level of outputs (table 3) lie within an interval which corresponds to the observed mean plus or minus one standard deviation (except for the percentage of pasture area cut which is underestimated). Coefficients of determination and of correlation between simulated and observed variables for the period 2000-2006 show that simulated net profit, beef receipts, CAP payments and concentrate feed per livestock unit can explain the observed variations and direction of changes. Coefficients for the other variables are more or less accurate.

Although our model outputs look globally consistent and accurate, some discrepancies must be recognised:

-1/ the simulated animal live weights at sale remain at the maximum level allowed over time whereas observed ones vary between years and gradually increase. Precise adjustments of animal diets can be costly for farmers in terms of time or feed analysis. These can partly explain why observed live weights are more variable and quantities of grain observed in animal diets are globally high in commercial farms [33]. In addition, availability of

Table 2:

Total area	Area of perm. pasture	Labour	Housing	Fixed cost in 1000€	Storage capacity (in tons of dry matter)				
					Maize silage	grain	hay	straw	
150 ha	81 ha	230 units *	95 calving	78	160	225	810	180	

\*1 unit per Livestock unit and 2 per ha of cereals

feed resources on the market is unlimited in our model whereas in reality it could be problematic some years to buy feed and above all hay. Regarding the observed rising trend, it can be due to genetic improvement that is not taken into account in our model and considered beyond the scope of this study.

-2/ the crop production model reveals some weaknesses. The area of pasture cut is indeed underestimated and its evolution differs greatly from observations (table 1). The pasture growth sub model was validated [10] on pasture at higher altitude. A proper evaluation of this model for the studied area would be necessary to determine if some bias comes from the sub model calibration or from weather data. In addition, pasture management in our model is probably better than what can be achieved in reality since pasture production is known for the whole month and can be allocated to the different end-use (grazing, stock, or haymaking) without wastage. Moreover, risk is not anticipated and consequently no security stock to buffer crop production variations is simulated. Relations between pasture production and feed availability are therefore more closely associated than in reality.

-3/ Abrupt change in production activities is simulated (cease of finished heifers with CAP 2006) but not observed. This problem is due to the optimisation method that chooses most profitable activities. In reality, if two kinds of production have close gross margins, and if the relative advantage of one of them varies over time, farmers would not profoundly reorganise their production and their commercialisation systems on a short term basis because change can be costly in terms of time, skills or risks.

## V. MODEL APPLICATION : SIMULATION OF CROP YIELD SHOCKS

### A. Method:

In order to assess beef price or crop yield shocks and shock/farm response relationships, shocks of intensities ranging from -60% to +60% of their

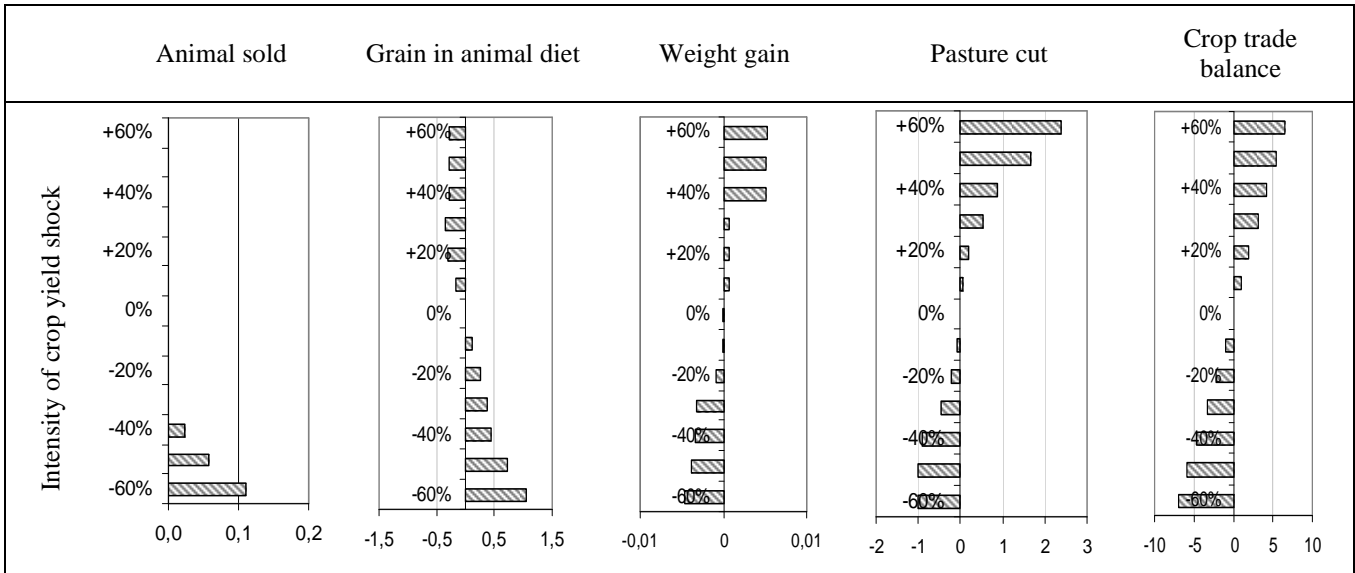


Figure 2: Rate of variation of production management indicators between year of shock occurrence ( $n_3$ ) and equilibrium level according to shock intensity (a: beef price shock, b: crop yield shock.)

average values are introduced into the simulated time span, i.e. the year referred to as " $n_3$ " between average years. We consider that the different animal types or crop production yields are affected in the same proportion. Potential interactions of these shocks with other parameters are not taken into account.

### B. Results:

**Production adjustments:** Five aggregated indicators of production management are calculated to appraise adjustments of production management in year  $n_3$  when beef price ( $a$ ) or crop yield ( $b$ ) shocks occurred (figure 2). They correspond to the rate of variation (differential between production decision values in year  $n_2$  and in year  $n_3$  divided by their values in year  $n_2$ ) of the following aggregated variables:

- 'animals sold' which takes into account the number of animals sold and their live weight at sale (and indirectly their age)
- 'grain in animal diet' which gives insight into diet composition,
- 'weight gain' which is the animal live weight gain accumulated over the year by the different animal classes (class size is not included),
- 'pasture cut' which is equal to the number of hectares cut multiplied by number of cuts,
- 'crop trade balance' which corresponds to the quantity of crop produce sold minus the quantity bought, and provides information about adjustment of feed supply,

A preference for maintaining animal sales is found for shocks of intensities ranging between -30% and +30%. Grains partly compensate the variation in forage products in animal diet. Consequently, the

trade in crop products is modified. As expected, sales are greater in good years whereas purchases increase in bad years. The areas of pasture cuts are positively correlated with crop yield shocks. When the intensity of shocks increases, the variation in animals sold increases too in order to decrease variable costs. Animal weight gains tend to increase for favourable shocks and decrease for adverse years. However these variations are not very significant.

**Evolution of productions:** Consequences of these adjustments on animal production are actually very slight for shocks of moderate intensities (figure 2) since adjustments of sales and weight gains are minor. Important negative shocks have more profound impacts and several years are necessary to rebuild the herd. In all cases, these adjustments generate a negative or nil cumulated differential of animal production over the time span simulated. However, our model cannot increase animal sales more than its equilibrium level because of structural and biological boundaries.

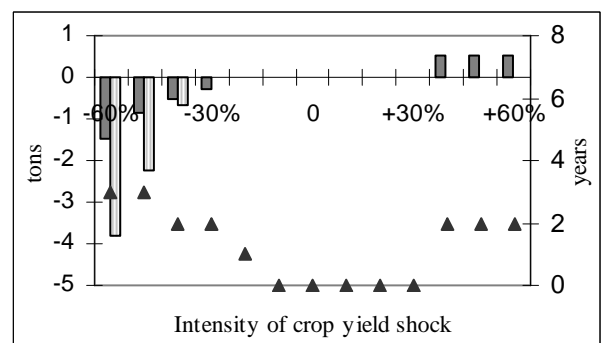
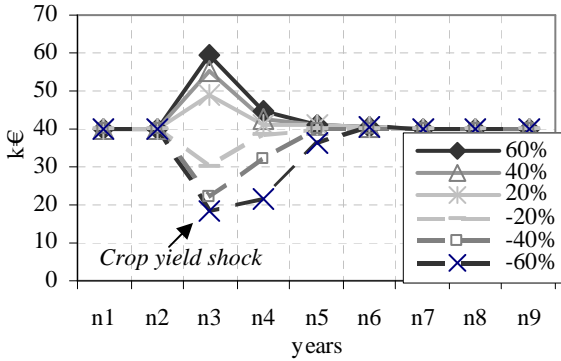


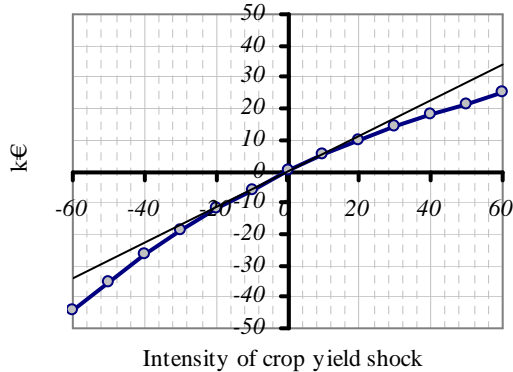
Figure 2: Impacts of crop yield shocks on beef production dynamics. Grey bars are differential of beef production for year  $n_3$ , striped bars correspond to cumulated differential of beef production and triangles represent the number of years necessary to come back to equilibrium.

*Evolution of net profit:* Impact of shocks on net profit, when taking tactical decisions into account, increases with shock intensity. The essential of the loss is felt in the year of the shock but the effects can continue to be felt for several years (figures 3).



**Figure 3:** Evolution of net profit per year according to the intensity of crop yield shocks that occurred in year n3 (only half the shocks are represented in order to keep figure readable)

When cumulated over a long period, gains and losses compared to the average situation are not symmetrical: profit surplus for good years cannot entirely compensate for profit losses (figure 4).



**Figure 4:** Cumulated differential of net profit following a shock, where interlinked circles are simulated points and dashed lines draw the tangent lines through the origin

## VI. DISCUSSION

Objective of the model is to assess relationships between shocks, optimal adjustments and farm outcomes. This section aims at discussing 1/ whether our modelling choices to provide flexibility that reflects the range of possibilities farmers have to adapt to weather conditions, and the relevancy of model results that depends on 2/ their contribution to make clearer relationships between shocks and farm adjustments and 3/ the insights given to uncover farm capacity to cope with shocks

### A. Model flexibility

Flexibility is the ability to adapt quickly to different circumstances. It depends then on the range of activities available, on adjustment possibilities and on farm constraints that may limit changes.

*Range of production activities proposed:* Our model provides a wide range of animal production possibilities. Females can be sold at 49 different periods, males at 24 periods and at each of these period animals can be sold at more or less 5% of their theoretical live weight. A monthly defined price takes into account depreciation or appreciation of animals when getting older and then heavier. This makes it possible to favour some periods of sales without forbidding others. Some weaknesses come from the fact that calving day is fixed and does not give as many possibilities as in the real situation, namely calving from autumn to spring. In addition, it is sometimes advised to limit risk of feed produce shortage to have two calving periods [5]. In our model, modifying the calving day would necessitate adjusting some model parameters. However, it does not seem reasonable to introduce two periods of calving: variables related to animal production would be multiplied by two and given the already high number of activities, model size would considerably increase. Few crop activities are proposed. In addition, marginal or innovative production technologies are not proposed; neither are diversification activities. The purpose of this model is to study main stream suckler cow farms and it cannot be used for a farm specialised in cereal crop production. It focuses instead on detailing intra-year animal, pasture and conserved feed management adjustments to seasonal conditions.

*Production adjustments available:* Short term adjustments (i.e. monthly decisions) are related to number and live weight of animals sold, animal diet composition and energy content, purchase and sales of crop products, and the quantity of grass harvested. These decisions can be revised each month if more information becomes available. These sources of adjustments provide a wide range of possibilities for the model to dynamically adapt to shocks. However, some can argue that as we do not offer the possibility to buy animals as did for instance [34], the time simulated for recovery after a shock may be overestimated. Our decision is motivated by two aspects. Firstly, our model does not include possibilities such as saving or borrowing to finance investments. Secondly, most farmers prefer to raise animals coming from their own farm to reduce health problems due to foreign animals. Deciding sequentially the end use –grain or forage for instance– of some multi-purpose crop productions such as wheat [17] or maize [8]. Notwithstanding, these practices may be efficient and innovative, but they are not

currently widespread within the studied area. In this version of the model, we have concentrated on detailing the sources of adjustments most commonly used in France.

*Limitation of adjustments by model constraints:* Adjustments are limited by different constraints related to farm structure or animal biology. At equilibrium, some constraints are at the upper bounds. For instance, the simulated farm can hardly adapt to favourable conditions by producing more or heavier animals, or by decreasing pasture production. This limitation could have been partially offset by introducing possibilities for labour hiring and investments. However, those who did, had most of the time to add additional constraints to limit enlargement [35]. We therefore face the same problem. Moreover, dual values of constraints displayed in GAMS outputs gives valuable insights to appreciate the propensity for enlargement according to the different scenarios studied. Our models can though adapt to shocks by producing less or by producing differently, modifying for instance diet or herd composition.

#### *B. Adjustment of farm production management following shocks*

To assess which farm decisions might be the most suitable to face price or weather condition shocks, a high number of parameters and a complex system of interactions have to be taken into account. A better understanding of these interactions is at stake. Some farm models have simulated impacts of price and weather condition variations on farm dynamics [36; 37; 38; 39; 40]. When tactical decisions are taken into account, applications focus most of the time on one or two kinds of tactical decisions such as pasture management [9; 10], multi purpose crop production [8; 17], adaptable crop acreage [16], cattle sales [20; 21], animal sales and supplementary feeding [18; 23] or test different kinds of adjustments successively [41; 42]. These applications endeavour chiefly either to assess benefits of a tactical adjustment relative to an inflexible strategy or to understand why farmers do not intensify their production system more. The main interest of our model application is to understand how the optimal mix of adjustments –animal sales, crop product trade, animal feeding, and haymaking- can be combined together to face shocks. The application brings to light the progressive mobilisation of the different kinds of adjustments according to shock intensity with a preference for maintaining animal production at the expense of crop product balance. However, economic and political contexts as well as farm characteristics are likely to modify this optimal mix: an increase in cereal price such as in 2007 would for instance limit adjustment of grain in animal diet, or more decoupled CAP payments would favour adjustments of animal

sales. Further investigations would be needed as well to assess how shock frequency and simultaneous shocks can modify optimal mix of production adjustments.

#### *C. Capacity of farms to cope with shocks*

It is of interest to assess if farmers would be able to maintain their activity over time in spite of disturbances. One condition is to avoid bankruptcy. By estimating impacts of crop yield and beef price shocks on farmers' earnings, this application can contribute to a vulnerability assessment or at least to a '*minimum potential vulnerability*' one [43], , i.e. an assessment of farm sensitivity to shocks when adaptive capacity is taken into account (vulnerability is a composite of exposure to shocks and ability to manage these shocks). The simulated beef production system is found to be very resilient as it can handle very important price and crop production shocks and bounce back to equilibrium. However, we should take into account the minimum consumption needs of the household, possibilities of loans to smooth out consumption over time, and fixed costs such as interest rates on loans or taxes and cash saving, to have a more realistic view of the capacity of farmers to cope with shocks [44]. This study also underlines that positive shocks do not totally compensate negative ones. This can result in a progressive weakening of the farm's capacity to cope with risks.

## VII. CONCLUSION

The model was designed to characterise the evolution of farm outputs when challenged by market and crop production shocks. The application provided here helps to understand how the different sources of adjustments –animal sales, crop product sales and purchases, animal diet, and haymaking- can be combined to face temporary crop yield and beef price shocks, and above all how the optimal mix is modified according to shock intensity. It can contribute as well to assessing the farm's capacity to handle shocks. However, '*ability to manage shocks or hazards is a complex function of existing behaviour that themselves represent long term or structural adaptation to predictable shocks, crisis behaviour and by external responses (policy) to a predicted and actual crisis*' [45]. The next step will be to introduce risk anticipation in the decision sub model in order to study jointly shock anticipation decisions and shock adjustment decisions.

- 1 Gateau, C., Novak, S., Kockmann, F., Ruget, F., Granger, S. (2006). Évaluation du potentiel herbager de sa variabilité en élevage allaitant. Régionalisation de la démarche ISOP en Saône et Loire, Fourrages, 186, 257-269
- 2 Boyer, P. (2006): Assurer les calamités agricoles ?, Proceedings of the COPEIAA-SAF seminar "Gérer les risques : des enjeux cruciaux pour les agriculteurs et pour la PAC", Paris, France, October 2006
- 3 Blanc F., Bocquier F., Agabriel J., Dhour P., Chilliard Y. (2006). Adaptive Abilities of the Females and Sustainability of Ruminant Livestock Systems. A review. Anim. Res. 55 (6), 489-510
- 4 Hoch T., Begon C., Cassar-Malek I., Picard B., Savary-Auzeloux I. (2003). Mécanismes et conséquences de la croissance compensatrice chez les ruminants. INRA Prod. Anim. 16, 49-59.
- 5 Pottier, E., Delaby, L., Agabriel, J. (2007). Adaptation des systèmes de production des ruminants à la sécheresse. In : Proceedings of the AFPP seminar, Paris, France, March, 2007
- 6 Antle, J. M. (1983), Sequential Decision Making in Production Models," Am. J. of Agr. Econ., 65, 282-290
- 7 Pannell, D.J., Malcolm, B., Kingwell, R.S., 2000. Are we risking too much? Perspectives on risk in farm modelling, Agr. Econ., 23, 69-78
- 8 Coleno, F.C., Duru, M., Soler, L.G. (2002). A simulation model of a dairy forage system to evaluate feeding management strategies with spring rotational grazing, Grass and For. Sc. 57,312-321
- 9 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, Comp. and Electr. in Agr. 42, 67-86
- 10 Jouven, M., Carrère, P., Baumont, R. (2006). Model predicting dynamics of biomass, structure and digestibility of herbage in managed permanent pastures. 1 Model description, Gr. and For. Sc., 61: 112-124
- 11 Janssen, S., Ittersum, M.K. (2007). Assessing farm innovations and responses to policies: a review of bio-economic farm models, Agr. Syst 94 :622-636
- 12 Veysset, P., Bebin, D., Lherm, M. (2005). Adaptation to Agenda 2000 (CAP reform) and optimisation of the farming system of French suckler cattle farms in the Charolais area: a model based study, Agr. Syst., 83,179-202
- 13 Crosson, P. O'Kiely, P., O'Mara, F.P., Wallace, M. (2005). The development of a mathematical model to investigate irish beef production systems Agr. Syst.
- 14 Havlík P., Veysset P., Boisson J.M., Lherm M., Jacquet F. (2005). Joint production under uncertainty and multifunctionality of agriculture: policy considerations and applied analysis, Eur. Rev. of Agr. Econ., 32 (4), 489-515
- 15 Matthews, K.B., Wright, I.A., Buchan, K., Davies, D.A., Scharz, G. (2006). Assessing the options for upland livestock systems under CAP reform: Developing and applying a livestock systems model within whole farm systems analysis, Agr. Syst., 90, 32-61
- 16 Kingwell, R.S, Pannell, D.J., Robinson, S.D. (1993). Tactical responses to seasonal conditions in whole farm planning in western Australia. Agr.Econ., 8, 211-226
- 17 Jacquet, F., Pluvinage, J. (1997). Climatic Uncertainty and Farm Policy: A Discrete Stochastic Programming Model for Cereal-Livestock Farms in Algeria, Agr. Syst. 53, 387-407
- 18 Kobayashi, M., Howitt, R.E, Jarvis, L.S, Laca, E.A. (2007). Stochastic rangeland use under capital constraints, Amer. J. Agr. Econ. 89 (3), 205-817
- 19 Barbier, B., Bergeron, G. (1999). Impact of policy interventions on land management in Honduras: results of a bioeconomic model, Agr. Syst., 60: 1-16
- 20 Olson, K.D., Mikesell, C.L. (1988). The range stocking decision and stochastic forage production, staff paper p988-16 of university of minnesota
- 21 Nicholson, C.F., Lee, D.R., Boisvert, R.N., Blake, R.W., Urbina, C.I. (1994). An optimization model of the dual-purpose cattle production system in the humid lowlands of Venezuela, Agr. Syst. 46, 311-334
- 22 Ethridge, D.E., Zhang, P., Dahl, B.E., Ervin, R.T., Rushmeza, J. (1990). Cattle ranching production and marketing strategies under combined price and weather Risks. West. J. of Agr. Econ. 23
- 23 Lambert, D.K. (1989). Calf retention and production decisions over time. West. J. of Agr. Econ. 14(1) 9-19
- 24 Blanco, M.F, Flichman, G, (2002). Dynamic optimisation problems : different resolution methods regarding agriculture and natural resource economics, working paper available online at [http://www.iamm.fr/bn/pdf/publi/flichman-2002-dyn\\_opti.pdf](http://www.iamm.fr/bn/pdf/publi/flichman-2002-dyn_opti.pdf)
- 25 INRA. (2007). Alimentation des bovins, ovins et caprins, eds QUAE
- 26 Garcia, F., Agabriel, J. (2008). CompoCow: a predictive model to estimate variations in body composition and the energy requirements of cull cows during fattening, J. of Agr. Sc., in press
- 27 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 For. Sc., 61: 112-124
- 28 Frechette, D.L. (2005). How does aversion to intertemporal variation affect hedging behaviour? Agr. Econ. 33 :389-398
- 29 Hardaker, J. B. M. Huirne, R. B. Anderson J. R., Lien, G. (2004). Coping with Risk in Agriculture, 2nd Edition. CABI Publishing, Wallingford, UK
- 30 Iglesias, E., Garrido, A., Gomez-ramos, A. (2003). Evaluation of drought management in irrigated areas, Agr. Econ., 29, 211-229
- 31 Veysset, P., Lherm, M., Bebin, D. (2005). Evolutions, dispersions et déterminants du revenu en élevage bovin allaitant charolais : étude sur 15 ans (1989-2003) à partir d'un échantillon constant de 69 exploitations, INRA Prod. Anim. 18(4), 265-275
- 32 Lence, S.H. (2000). Using a consumption and asset return data to estimate farmers' time preference and risk attitudes, Am. J. Agr. Econ., 82(4), 934-947
- 33 Veysset, P., Agabriel, J., Ingrand, S., Bébin, D., Constant, I., Lherm, M., Dauphin, L. (2007). [La conduite de l'alimentation en élevage bovin allaitant : analyse des écarts entre pratiques et recommandations](#). Proceedings of the 14th Rencontre Recherche Ruminants, Paris, 229-232
- 34 Louhichi, K., Alary, V., Grimaud, P. (2004). A dynamic model to analyse the bio-technical and socio-economic interactions in dairy farming systems on the Reunion Island, Anim. Res. 53, 363-382
- 35 Ridier, A., Jacquet, F. (2002). Decoupling Direct Payments and the Dynamics of Decisions under Price Risk in Cattle Farms. J. Agr. Econ.53(3) 549-565
- 36 Sullivan, G.M., Cartwright, T.C., Farris, D.E. (1981) Simulation of production systems in East Africa by use of interfaced forage and cattle models. Agr. Syst., 7, 241-265
- 37 Cacho, O.J., Bywater, A.C., Dillon, J.L. (1999). Assessment of production risk in grazing models. Agr. Syst. 60:87-98.
- 38 Beukes, P.C., Cowling, R.M., Higgins, S.I. (2002). An ecological economic simulation model of a non-selective grazing system in the Nama Karoo, Ecol. Econ. 42, 221-242
- 39 Perillat, B.J., W. J. Brown and R.D.H. Cohen. (2004). A risk efficiency analysis of backgrounding and finishing steers on pasture in Saskatchewan, Canada. Agr. Syst., 80,213-233
- 40 Kaine, G.W., Tozer, P.R. (2005). Stability, resilience and sustainability in pasture-based grazing systems. Agr. Syst. 83, 27-48.
- 41 Gillard, P., Monypenny R. (1990). Decision support model to evaluate the effect(s) of drought and stocking rate on beef cattle properties in Northern Australia. Agr. Syst. 34, 37-52
- 42 Diaz-Solis, H., Kothmann, M.M., Grant, W.E., De Luna-Villarreal, R. (2005). Application of a simple ecological sustainability simulator (SESS) as a management tool in the semi-arid rangelands of northeastern Mexico. Agr. Syst. 88(2-3), 514-527
- 43 Luers, A.L., D.B. Lobell, L.S., Sklar, C.L. Addams and P.A. Matson. (2003). [A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico](#). Global Environmental Change 13: 255-267
- 44 Alary, V. (2000). Les cacaoculteurs camerounais face aux risques: essai de modélisation. Eds L'harmattan, Paris, 236 p
- 45 Sabates-Wheeler, R., Haddad, L. (2005). Reconciling different concepts of risk and vulnerability: A review of donor documents. IDS - Sussex. Available online at <http://www.oecd.org/dataoecd/33/60/36570676.pdf>

## APPENDICES

### Appendix 1: Parameters related to forage production

	April	May	June	July	Aug.	Sept.	Nov.
Cost to harvest hay in €/100kg	15.5	5.6	3.3	4.1	4.8	5.0	/
Abscission ('abs')	0.96	0.79	0.59	0.60	0.72	0.81	0.84

### Appendix2: Crop production parameters

	Grain (1st cereal)	straw	maize
Average yield	56	35	90
Average price at sale	11	5	/

### Appendix 3: Average animal prices over the period 2000-2006:

	Apr.	may	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
cow	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59
fcow	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.58	1.61	1.63	1.64	1.64	1.64
fheif3	1.52	1.57	1.62	1.65	1.67	1.70					
fmal2	1.76	1.77	1.78	1.79	1.80	1.81					
fsteer2	1.79	1.81	1.82	1.83	1.84	1.85	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86
heif1	2.27	2.24	2.21	2.19	2.16	2.13	2.10	2.08	2.06	2.04	2.02
heif2	1.55	1.63	1.70	1.77	1.84	1.92	1.91	1.90	1.89	1.88	1.87
mal1	2.51	2.48	2.44	2.40	2.36	2.32	2.28	2.24	2.21	2.18	2.15
prim	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59

Note : prices take into account theoretical animal live weight at each month

*Corresponding author:*

*Mosnier Claire, INRA -URH-SP, 63122 St Genès  
Champanelle, France, cmosnier@clermont.inra.fr*





---

## **Adaptation des élevages de bovins allaitants aux aléas de prix et de climat :**

### **Approches par modélisation**

Les éleveurs de bovins allaitants sont confrontés à des risques climatiques et à des risques de prix qui peuvent menacer la pérennité de leurs exploitations. Dans cette thèse, nous nous sommes focalisés sur l'évaluation des impacts des aléas de prix de la viande bovine et de climat sur la gestion du troupeau et des cultures par les éleveurs et sur les résultats technico-économiques qui en découlent. Nous avons pour cela combiné de façon originale et complémentaire des méthodes innovantes relatives à l'analyse d'un panel d'exploitations et à la simulation. Nous avons ainsi 1) déterminé les corrélations entre aléas et variables technico-économiques observées, 2) construit un modèle économétrique pour estimer une fonction de production en présence de deux sources de risque et 3) développé un modèle d'exploitation récursif en programmation dynamique stochastique discrète. Nous avons établi sur la base des données observées que les éleveurs sont averses au risque et que cette aversion augmente lorsque leur richesse diminue. Dans nos simulations, les ajustements tactiques de la production aux aléas prennent le pas sur des adaptations plus stratégiques visant à diminuer l'exposition des exploitations aux risques. Les leviers d'ajustement, préférés et préférables, pour faire face aux aléas climatiques défavorables sont 1) l'augmentation de la part des concentrés dans les rations des animaux et l'achat de fourrages de façon à maintenir les objectifs de production du troupeau et 2) l'ajustement des surfaces fauchées afin de privilégier le pâturage. Pour des variations de prix affectant tous les types d'animaux dans les mêmes proportions, la production simulée reste inchangée. Les variations de prix se répercutent directement sur les recettes des ventes bovines. Les aléas climatiques se font sentir essentiellement sur les charges du troupeau de l'année en cours et de l'année suivante. Les pertes causées par des aléas climatiques négatifs ne sont pas totalement compensées par les surplus de gains engendrés lorsque les années sont favorables, et, deux mauvaises années climatiques de suite peuvent entraîner des baisses de profit très importantes. Une augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes pourrait donc affaiblir les revenus moyens des éleveurs.

**Mots clés :** élevage bovin, risque, aléa climatique, fonction de production, modèle dynamique d'exploitation

---

## **Adaptation of suckler cow farms to weather and beef price risks :**

### **Modelling approaches**

Suckler cow farmers face weather and price risks which can threaten farms durability. In this thesis, focus was on assessing impacts of weather and price risks on farmers decisions related to herd and crop management and on the subsequent economical results. To achieve this objective we have originally and innovatively combined panel data analysis and simulation methods. We have thus 1) determined correlations between weather and price variability and variations of farms indicators, 2) built an econometric model to estimate a production function under two sources of uncertainty, 3) developed a recursive farm model in discrete stochastic programming. Suckler cow Farmers have been found to be risk averse; this aversion decreases with increasing wealth. We simulate that tactical decisions were far more important to face weather and price risks than strategic decisions to prevent impacts of risks. Main observed and simulated adjustments to face unfavourable weather shocks are 1) the increase of concentrate feed in animal diets and of purchased fodder in order to maintain animal production objectives, and 2) area of pasture harvested for haymaking. Regarding beef price variations, when they affect prices of the different kinds of animals in the same proportion, no production adjustment is made. Beef price variations directly impact on beef receipts. Weather variations weights on herd costs not only of the current year but also on the following year. In addition, losses caused by unfavourable weather conditions are not compensated by gains in good ones and consequences of two successive years with very low crop yields induce a dramatic fall of profit. Consequently, if the probability of occurrence of extreme weather event increases with climate change, expected profit of suckler cow farmers is likely to be weakened.

**Key words :** Beef cattle farm, risk, weather shock, production function, dynamic farm model

---

**Disciplines :** Économie Agricole et Zootechnie

**Laboratoire d'accueil :** INRA, centre de Clermont-Ferrand/Theix, Unité de Recherche sur les Herbivores, 63122 Saint Genès Champanelle

---