

VINCENT DEMERS CARON

**IMPACT DE LA PROLIFICITÉ SUR LA
RENTABILITÉ DE L'ENTREPRISE OVINE
QUÉBÉCOISE : APPROCHE PAR MODÉLISATION**

Mémoire présenté
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de maîtrise en Sciences Animales
pour l'obtention du grade de Maître ès Sciences (M. Sc.)

DÉPARTEMENT DES SCIENCES ANIMALES
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2010

© Vincent Demers Caron, 2010

RÉSUMÉ COURT

L'objectif du présent travail était de vérifier, par simulations informatiques, l'impact d'une augmentation du taux de prolificité sur la rentabilité de l'entreprise ovine québécoise. Plusieurs sources de données ont été utilisées afin de bâtir quatre troupeaux dont les niveaux de prolificité variaient de 1,5 à 2,4 agneaux nés par agnelage. Ces troupeaux ont été simulés à l'aide d'un logiciel développé spécifiquement pour le projet. Les simulations ont permis de montrer qu'une hausse de la prolificité de 1,5 à 2,4 agneaux nés par agnelage permet une amélioration annuelle de la marge brute de près de 24 000 \$. À la lumière des résultats de l'analyse de sensibilité, il est possible d'affirmer que cette relation est légèrement sensible aux changements apportés au contexte de production.

RÉSUMÉ LONG

Le nombre d'agneaux nés par brebis par agnelage (prolificité) est un paramètre de production généralement reconnu comme ayant un impact majeur sur la rentabilité de l'entreprise ovine. Cependant, son impact précis en termes de variations des produits et charges supplémentaires n'a jamais été étudié dans les conditions de production intensive comme celles du Québec. Afin d'évaluer les résultats attendus de troupeaux ayant différents niveaux de prolificité, un logiciel de simulation du fonctionnement d'un troupeau ovin a été développé. Ce modèle déterministe à événements discrets permet de modifier certains paramètres de la simulation afin d'en vérifier l'impact sur plusieurs indicateurs autant techniques qu'économiques. Quatre troupeaux commerciaux de 500 femelles reproductrices, gérées dans un système intensif de trois agnelages par deux ans, ont été simulés avec des niveaux de prolificité de 1,5, 1,8, 2,1 et 2,4 agneaux nés par brebis par agnelage. Ces troupeaux ont été bâtis afin d'être représentatifs du contexte de production québécois. Les paramètres influencés par la prolificité ont été ajustés à partir de la littérature scientifique, de données de projets antérieurs de l'équipe de recherche et de la base de données GenOvis (programme d'évaluation génétique en vigueur au Canada). Finalement, une analyse de sensibilité de l'effet de la prolificité sur la marge brute a été réalisée.

Résultat des plus hauts taux de mortalité des agneaux issus de tailles de portées élevées, le nombre d'agneaux sevrés par brebis par année a augmenté de façon décroissante (non linéaire) à mesure que la prolificité augmentait. L'augmentation des revenus provenant du plus grand nombre d'agneaux vendus a surpassé la hausse des charges variables associées à la hausse de productivité. En effet, alors que les marges brutes obtenues sont négatives pour les hypothèses à 1,5 et 1,8 de prolificité moyenne (-20,08 et -2,47 \$/brebis par année, respectivement), elles sont positives pour les hypothèses à 2,1 et 2,4 agneaux par brebis par agnelage (13,96 et 26,96 \$/brebis par année, respectivement).

Lors de l'analyse de sensibilité, en rapport à la situation initiale, les facteurs suivants ont permis d'amplifier l'avantage d'une augmentation de la prolificité : haute fertilité, basse mortalité des agneaux, croissance rapide des agneaux, prix des animaux élevés et faibles prix des aliments. L'inverse a été observé en faisant varier les mêmes paramètres en sens contraire de même qu'avec un rythme d'agnelage plus lent. Toutefois, aucune modification faite pour l'analyse de sensibilité n'a permis d'annuler l'avantage économique d'une augmentation de la prolificité. Il semble donc que l'augmentation de la prolificité entre 1,5 et 2,4 agneaux nés par agnelage soit une option pour améliorer la rentabilité des entreprises ovines, et ce, dans différents contextes de production et de prix.

AVANT-PROPOS

Avant tout, je tiens à remercier toutes les personnes impliquées dans ce projet. Un projet d'une telle envergure n'aurait pu être mené à bien sans leur apport.

Mes premiers remerciements vont au Dr François Castonguay, chercheur à Agriculture et Agroalimentaire Canada, d'abord pour m'avoir convaincu que ce projet était fait pour moi... tu as vu juste. Durant les dernières années, j'ai été dirigé par plusieurs entraîneurs dont certains jouissent d'une grande renommée. Alors qu'eux m'ont surtout fait évoluer en tant qu'athlète, tu auras su me faire grandir comme étudiant, professionnel et aussi comme individu. J'en suis profondément reconnaissant.

Merci à mon codirecteur, le Dr Doris Pellerin, agr., directeur du Département des sciences animales et professeur à la Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, pour les quelques bons coups de barre. Tes conseils m'ont été d'une aide très précieuse. Avec un peu de recul, nous limiter à l'étude d'un seul aspect était certainement la meilleure chose qui pouvait être faite!

Ma gratitude va également à Mireille Thériault, adjointe de recherche à Agriculture et Agroalimentaire Canada. Autant à titre de professionnelle que d'amie, tu as grandement contribué à mon cheminement. Merci pour toutes les discussions et pour l'énorme travail d'analyse statistique sur la base de données de GenOvis. C'est un réel bonheur de poursuivre l'aventure avec François et toi, j'ai encore tant à apprendre!

Mille mercis à l'équipe de conception de Simulovins qui a su comprendre ce qu'on voulait faire (croyez-moi, ce n'était pas clair au début!) tout en suivant un cours trop accéléré en production ovine! Merci à Jean-Michel Gagnon d'avoir rendu l'expérience de développement de Simulovins si agréable. Tout l'intérêt que tu as porté à l'ensemble du projet et ton ardeur au travail ont engendré un produit de très grande qualité. C'était un réel plaisir de travailler avec toi. Merci à Faouzi Benjelloun d'avoir placé autant de ressources à

notre disposition et pour avoir grandement aidé à orienter le développement de Simulovins. Merci aussi à Sébastien Rivest pour toute l'aide apportée et pour l'environnement visuel de Simulovins. Finalement, merci à tous ceux qui ont travaillé à un moment ou un autre sur la programmation : Raouf, Mohammed, Tie, Sébastien...

Des remerciements vont également à Manon Lepage, Francis Goulet, Marie-Ève Tremblay, Marie-José Cimon, Karine Belzile, Dany Cinq-Mars, André Charest et Sylvain Blanchette qui ont chacun leur tour contribué à la réalisation du projet.

Je dois remercier le Programme d'appui financier aux associations de producteurs désignées, Volet 4 « Initiatives » du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec pour avoir financé le projet. Merci aussi à la Fédération des producteurs d'agneaux et de moutons du Québec de nous avoir appuyés et nous avoir fait confiance pour mener à bien ce projet. Des remerciements vont aussi au Conseil de Recherche en Sciences Humaines du Canada et au Fonds de Recherche sur la Société et la Culture pour m'avoir attribué des bourses d'excellence. Également, merci au Réseau de valorisation de l'enseignement, Programme d'appui au développement pédagogique – Volet APTIC ainsi qu'au Centre d'expertise en production ovine du Québec pour leurs apports. Merci à Stéphane Dupuis et Alain Bernard de SoftAgro de nous avoir gracieusement fourni l'accès à Oviration 3.0.

Merci à ma famille et mes amis pour toute la compréhension dont vous avez fait preuve, autant pour mon indisponibilité récurrente que pour mon humeur disons... changeante! Merci à mon amoureuse Caroline... tu y es pour tellement!

TABLE DES MATIÈRES

RESUME COURT	II
RESUME LONG	III
AVANT-PROPOS	V
TABLE DES MATIERES	VII
LISTE DES TABLEAUX	IX
LISTE DES FIGURES	X
CHAPITRE 1. INTRODUCTION	11
CHAPITRE 2. REVUE DES TRAVAUX ANTERIEURS	14
2.1. LA RENTABILITE DE L'ENTREPRISE OVINE.....	14
2.1.1. Paramètres influençant la rentabilité.....	14
2.1.1.1. Les paramètres déterminants.....	14
2.1.1.2. La productivité.....	15
2.1.1.3. Autres paramètres.....	18
2.1.2. La modélisation.....	20
2.1.2.1. Notions de base.....	20
2.1.2.2. Types de simulations.....	28
2.1.2.3. Validation	32
2.1.2.4. Indicateurs	33
2.2. LA PROLIFICITÉ.....	34
2.2.1. Moyens d'influencer la prolificité	34
2.2.1.1. Génétique.....	34
2.2.1.2. Traitements hormonaux.....	36
2.2.1.3. Alimentation et état de chair.....	37
2.2.1.4. Saison de reproduction.....	38
2.2.1.5. Âge et parité.....	38
2.2.1.6. Effet du mâle.....	39
2.2.2. Effets de la prolificité	39
2.2.2.1. Poids à la naissance des agneaux.....	40
2.2.2.2. Mortalité des agneaux	43
2.2.2.3. Croissance des agneaux.....	48
2.2.2.4. L'alimentation des agneaux.....	54
2.2.2.5. Classification des carcasses	55
2.2.2.6. L'alimentation des brebis	56
2.2.2.7. Temps de travail	57
2.2.2.8. Densité d'élevage.....	57
2.3. CONCLUSION.....	60
2.4. OBJECTIFS DE RECHERCHE.....	61
2.5. REFERENCES	61

CHAPITRE 3. IMPACT DE LA PROLIFICITE SUR LA RENTABILITE DE L'ENTREPRISE OVINE QUEBECOISE : APPROCHE PAR MODELISATION.....	75
3.1. INTRODUCTION	75
3.2. MATERIEL ET METHODE.....	76
3.2.1. Description de l'outil de simulation.....	76
3.2.2. Les simulations réalisées	81
3.2.2.1. <i>Effet de la prolificité</i>	81
3.2.2.2. <i>Évaluation de la sensibilité de l'effet de la prolificité sur la marge brute</i>	95
3.3. RESULTATS ET DISCUSSION.....	96
3.3.1. Effet de la prolificité	96
3.3.2. Analyse de sensibilité	102
3.4. CONCLUSIONS.....	107
3.5. REFERENCES	107
CHAPITRE 4. DISCUSSION GENERALE.....	111
ANNEXE A.	115

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 2.1.	PROLIFICITE MOYENNE DES PRINCIPALES RACES INSCRITES AU PROGRAMME D'ÉVALUATION GÉNÉTIQUE CANADIEN GENOVIS.....	35
TABLEAU 2.2.	PROLIFICITE MOYENNE DE LA FEMELLE OVINE SELON SON AGE, CHEZ DES BREBIS ARCOTT CANADIEN, OUTAOUAIS ET RIDEAU, AINSI QUE LEURS CROISEMENTS.....	39
TABLEAU 2.3.	POIDS A LA NAISSANCE MOYENS D'AGNEAUX ISSUS DE PORTEES DE TAILLES DIFFÉRENTES SELON DIFFÉRENTES ÉTUDES	42
TABLEAU 2.4.	TAUX DE MORTALITÉ A 91 JOURS D'AGNEAUX DE DIFFÉRENTS TYPES DE NAISSANCE ALLAITÉS ARTIFICIELLEMENT DE LA NAISSANCE A 21 JOURS D'ÂGE.....	45
TABLEAU 2.5.	PERFORMANCES DE CROISSANCE DES TRIPLETS EN BAS ÂGE ET SUR LA PÉRIODE DE CROISSANCE GLOBALE	50
TABLEAU 2.6.	SUPERFICIES RECOMMANDÉES POUR LES OVINS DE DIFFÉRENTS STADES DE PRODUCTION	59
TABLEAU 3.1.	PARAMÈTRES DE PRODUCTION COMMUNS A TOUTES LES SIMULATIONS	85
TABLEAU 3.2.	REPARTITION DES VENTES D'AGNEAUX (%) SELON LE TYPE DE CROISEMENT ET LA PROLIFICITE MOYENNE.....	86
TABLEAU 3.3.	PARAMÈTRES DE CROISSANCE ET DE MORTALITÉ DES AGNEAUX EN ALLAITEMENT NATUREL AJUSTÉS SELON LE TYPE DE CROISEMENT ET LE TYPE DE NAISSANCE	89
TABLEAU 3.4.	PARAMÈTRES DE CROISSANCE ET DE MORTALITÉ DES AGNEAUX EN ALLAITEMENT ARTIFICIEL AJUSTÉS SELON LE TYPE DE CROISEMENT ET LE NIVEAU DE PROLIFICITE.....	90
TABLEAU 3.5.	SUPERFICIES EN PARQUET POUR LES OVINS DE DIFFÉRENTS STADES DE PRODUCTION	93
TABLEAU 3.6.	LISTE DES PRIX ET DES COÛTS.....	94
TABLEAU 3.7.	VALEURS DES PARAMÈTRES MODIFIÉS POUR L'ANALYSE DE SENSIBILITÉ	96
TABLEAU 3.8.	PERFORMANCES TECHNIQUES ANNUELLES D'UN TROUPEAU DE 500 BREBIS EN FONCTION D'UN TAUX DE PROLIFICITE VARIANT DE 1,5 A 2,4 DANS UN SYSTÈME DE PRODUCTION ACCÉLÉRÉ DE TROIS AGNELAGES EN DEUX ANS	98
TABLEAU 3.9.	RÉSULTATS ÉCONOMIQUES ANNUELS D'UNE SIMULATION D'UN TROUPEAU DE 500 BREBIS EN FONCTION D'UN TAUX DE PROLIFICITE VARIANT DE 1,5 A 2,4 DANS UN SYSTÈME ACCÉLÉRÉ DE TROIS AGNELAGES EN DEUX ANS.....	99

LISTE DES FIGURES

FIGURE 2.1.	EXEMPLE D'UN DIAGRAMME « TORNADE »	31
FIGURE 2.2.	EXEMPLE D'UN GRAPHIQUE « ARAIGNEE ».....	31
FIGURE 2.3.	REGRESSION DE LA MORTALITE DE LA NAISSANCE AU SEVRAGE (60 J) SUR LE POIDS A LA NAISSANCE D'AGNEAUX DE MERES FINNISH LANDRACE (F), TARGHEE (T), SUFFOLK (S) ET DE RACE COMPOSITE (C2) AJUSTEE POUR L'ANNEE, LE SEXE, L'AGE DE LA MERE ET LA TAILLE DE PORTEE : A) MORTALITE TOTALE (TMW) ; B) MORTALITE PERINATALE (PRM) ; C) MORTALITE POSTNATALE (PTM).....	47
FIGURE 3.1.	ORGANIGRAMME DES INTERFACES D'ACCUEIL, D'INTRODUCTION DE MODULE, D'ENTREES ET DE SORTIES DE LA SIMULATION.	77
FIGURE 3.2.	FONCTIONNEMENT DU TROUPEAU SELON UN SYSTEME DE PRODUCTION DE TROIS AGNELAGES EN DEUX ANS (LA LIGNE REPRESENTE LE TEMPS EN JOURS, LES PARAMETRES SONT MONTRES DANS LES BULLES DE TEXTE TANDIS QUE LES PRODUITS SONT DANS LES OVALES).....	79
FIGURE 3.3.	MOUVEMENTS DES FEMELLES REPRODUCTRICES ENTRE LES QUATRE GROUPEES DE REPRODUCTION DU TROUPEAU SIMULE.....	82
FIGURE 3.4.	PROPORTIONS DES TYPES DE NAISSANCE SELON LA PROLIFICITE MOYENNE (A PARTIR DES RESULTATS DE L'ANALYSE DES DONNEES GENOVIS).....	88
FIGURE 3.5.	PRODUITS, CHARGES VARIABLES ET MARGE BRUTE PAR AGNEAU VENDU EN FONCTION D'UN TAUX DE PROLIFICITE VARIANT ENTRE 1,5 ET 2,4 AGNEAUX NES PAR AGNELAGE.....	100
FIGURE 3.6.	SENSIBILITE DE L'EFFET DE LA PROLIFICITE SUR LA MARGE BRUTE FACE A UN RYTHME D'AGNELAGE PLUS LENT (9 MOIS) ET A DES TAUX DE FERTILITE PLUS FAIBLES ET PLUS ELEVES.....	103
FIGURE 3.7.	SENSIBILITE DE L'EFFET DE LA PROLIFICITE SUR LA MARGE BRUTE FACE AUX TAUX DE MORTALITE DES AGNEAUX.....	104
FIGURE 3.8.	SENSIBILITE DE L'EFFET DE LA PROLIFICITE SUR LA MARGE BRUTE FACE A LA VITESSE DE CROISSANCE DES AGNEAUX.....	105
FIGURE 3.9.	SENSIBILITE DE L'EFFET DE LA PROLIFICITE SUR LA MARGE BRUTE FACE AUX PRIX D'ACHAT DES ALIMENTS ET DE VENTE DES AGNEAUX.	106

CHAPITRE 1.

INTRODUCTION

L'industrie ovine du Québec a connu une croissance excessivement rapide durant les dernières années. Ainsi, le nombre de producteurs est passé de 393 à 790 entre 1994 et 2009, alors que le nombre de brebis a augmenté de 68 000 à près de 167 000 au cours de la même période (La Financière Agricole du Québec, 2010¹). Le nombre d'entreprises en démarrage et l'expansion de celles déjà existantes expliquent en grande partie cet essor. L'absence de contingentement de la production et la popularité du concept des fermes à dimensions humaines contribuent grandement au développement de la production ovine. L'élevage ovin se place donc assurément au rang des productions animales d'avenir pour l'agriculture québécoise, particulièrement pour les régions périphériques où sont implantées la majorité des entreprises. Cependant, afin d'améliorer la productivité et la rentabilité des entreprises et assurer la pérennité et le développement de l'industrie, les producteurs ovins ont besoin, plus que jamais, d'un appui solide et soutenu des intervenants du secteur.

Actuellement, tous s'entendent pour dire que les entreprises ovines québécoises sont difficiles à rentabiliser. En effet, selon le modèle du coût de production 2006 établi par le Centre d'études sur les coûts de production en agriculture (CECPA, 2007²), l'entreprise ovine moyenne subit une perte annuelle nette de 30 257 \$, soit 61 \$/brebis. Par contre, Tremblay et Gagnon (2006³) ont montré que les entreprises les plus performantes affichent un bénéfice net de 65 \$/brebis. Ceci démontre d'une part la fragilité financière des entreprises ovines, mais aussi, d'autre part, qu'il est tout de même possible de rentabiliser de telles exploitations dans le contexte de production québécois. Plusieurs paramètres zootechniques susceptibles d'influencer les performances et la rentabilité de

¹ La Financière Agricole du Québec. 2010. <http://www.fadq.qc.ca/> Accédé le 19 août 2010.

² Centre d'études sur les coûts de production en agriculture. 2007. Étude sur le coût de production des agneaux en 2006 au Québec. Lévis, Qc. 83 pp.

³ Tremblay, M. et J. Gagnon. 2006. Portrait technicoéconomique et financier des meilleures entreprises ovines au Québec. Symposium ovin 2006. p. 11-35. CRAAQ, Victoriaville, Qc.

l'entreprise peuvent être identifiés : taille de portée à la naissance, mortalité des agneaux, gain de poids des agneaux avant et après le sevrage, qualité des carcasses, fertilité en saison et en contre-saison sexuelle, utilisation des techniques de reproduction en contre-saison, etc. De plus, tous ces éléments sont généralement interreliés, ce qui complique la tâche de quantifier précisément l'impact financier du changement d'un seul de ces paramètres.

Aucune étude n'a été réalisée au Canada pour établir précisément les interactions entre les nombreux paramètres de production et évaluer l'importance relative de chacun d'eux sur la rentabilité d'une entreprise ovine dans le contexte de l'élevage en système de production accéléré. À première vue, il apparaît évident que l'augmentation de la prolificité, le nombre d'agneaux nés par agnelage, compte parmi les facteurs qui jouent le plus grand rôle sur le revenu. Cependant, il est difficile de quantifier l'impact réel de la prolificité des brebis sur la rentabilité d'une entreprise en raison des interactions existant entre ce paramètre et plusieurs autres (taux de mortalité des agneaux, performances de croissance, qualité de carcasses...) pouvant également jouer sur la rentabilité. L'absence d'étude chiffrant les avantages de l'utilisation des femelles plus prolifiques n'est probablement pas étrangère au fait que la prolificité moyenne des troupeaux du Québec ne semble pas s'améliorer avec les années. De fait, l'utilisation de ce type de femelles fait l'objet de promotion depuis les années 1960 (Munro, 1961⁴), mais elle tarde à être acceptée par les producteurs. En fait, l'idée que les effets de l'augmentation de prolificité soient contrecarrés par une hausse de la mortalité des agneaux, d'une baisse de leur croissance et d'une hausse des coûts d'alimentation semble bien ancrée. L'étude des impacts d'une augmentation de la prolificité prend donc tout son sens. Comme le nombre de paramètres zootechniques à considérer dans la gestion d'un troupeau ovin est très important et que le nombre d'interactions entre tous ces paramètres l'est encore plus, l'approche par modélisation s'avère être une méthode de prédilection pour étudier l'effet de la prolificité sur la rentabilité d'une entreprise ovine. Le présent ouvrage comporte une revue des travaux antérieurs sur la rentabilité de l'entreprise ovine, sur la modélisation et sur la prolificité. Il

⁴ Munro, S. S. 1961. Croisement à trois voies pour l'élevage du mouton. Dans: Ministère de l'Agriculture du Canada (ed.) Nouvelles agricoles No. 1019.

présente également les résultats d'une étude par modélisation de l'impact de la prolificité sur l'entreprise ovine québécoise.

CHAPITRE 2.

REVUE DES TRAVAUX ANTÉRIEURS

2.1. LA RENTABILITE DE L'ENTREPRISE OVINE

2.1.1. Paramètres influençant la rentabilité

Plusieurs aspects de la production peuvent avoir un effet sur la performance économique d'une entreprise ovine. Quelques rares études, réalisées dans des contextes de production souvent différents, ont tenté de déterminer quels paramètres ont le plus grand impact.

2.1.1.1. Les paramètres déterminants

Les résultats de simulations de Morel et Kenyon (2006) ont montré que la marge brute de l'entreprise ovine néo-zélandaise était d'abord affectée par le prix et le taux de croissance des agneaux, puis par le poids vif de la brebis, la prolificité, le taux de conception et la croissance de l'herbe au pâturage. À noter que ces résultats sont basés sur une conduite d'élevage au pâturage avec un âge au sevrage pouvant atteindre 118 jours alors que dans les conditions d'élevage québécoises, la majorité des agneaux sont sevrés entre 50 et 60 jours, élevés à l'intérieur et alimentés avec des grains jusqu'à leur d'abattage.

Nudell *et al.* (1998) ont étudié l'impact des critères de productivité sur la rentabilité à l'aide de corrélations faites à partir d'une base de données de plus de 30 producteurs du Dakota du Nord aux États-Unis. Les mesures comprenaient les coûts fixes et variables, les données d'utilisation du territoire, les remboursements de la dette et toutes les données concernant les revenus. Selon les résultats obtenus, la productivité numérique ne serait pas un déterminant significatif de la rentabilité. Aussi, la mortalité des agneaux en période présevrage jouerait seulement un rôle mineur dans la rentabilité. L'étude n'a pas montré non plus de relation significative entre la rentabilité et le prix des agneaux. Cependant, les gains financiers de l'augmentation du poids d'abattage des agneaux semblaient bien

supérieurs aux coûts supplémentaires liés à cette période d'engraissement. Quoiqu'ils suggèrent que l'augmentation de la taille du troupeau est positive pour la rentabilité de l'entreprise, les auteurs n'ont pas déterminé la taille optimale d'une entreprise ovine dans leurs conditions. Selon eux, regrouper les agnelages sur une période plus courte et augmenter le poids au sevrage auraient un effet positif sur les revenus bruts. En fait, une augmentation du poids au sevrage fait diminuer le coût unitaire. Toutefois, les conclusions tirées de telles corrélations doivent être relativisées puisqu'elles dépendent fortement de l'échantillonnage des fermes. Aussi, même avec de fortes corrélations, rien n'indique qu'il y a vraiment un lien de causalité avec la rentabilité.

Des simulations réalisées avec une version adaptée du modèle utilisé par Wang et Dickerson (1991a, b, c) et Blackburn et Cartwright (1987) pour étudier les systèmes de production égyptiens ont montré que le taux de conception et la prolificité avaient les plus grands impacts sur la marge brute par brebis (Almahdy *et al.*, 2000a; Almahdy *et al.*, 2000b).

Très récemment, Berger et Thomas (2008) ont calculé qu'au Wisconsin, les profits annuels par brebis passaient de -7,40 à 10,56 et à 28,52 \$ lorsque le nombre d'agneaux produits par brebis par année passait respectivement de 1,6 à 1,8 et à 2,0. Le troupeau simulé était basé sur un système à un agnelage par année (aucun désaisonnement) avec utilisation des pâturages. Dans la simulation à 1,6 agneau produit par brebis, un prix des agneaux vivants plus élevé de 0,22 \$/kg (de 2,20 à 2,42 \$/kg) augmentait les profits par brebis à 18,99 \$. En ajoutant la vente de sujets reproducteurs (10 jeunes béliers à 350 \$ chacun et 20 agnelles à 250 \$ chacune), le profit atteignait un sommet à 52,46 \$/brebis. À noter que ce résultat comprend une baisse du prix des agneaux de marché restant (de 2,20 à 2,09 \$/kg), l'achat de deux béliers de haute génétique et des frais supplémentaires pour la mise en marché.

2.1.1.2. *La productivité*

Même si les résultats des études citées précédemment ne sont pas transférables directement à nos élevages québécois et canadiens, il semble que la productivité numérique et ses

composantes soient très souvent associées avec la rentabilité des entreprises ovines. Dans les composantes de la productivité, on peut inclure le rythme d'agnelage (incluant le taux de fertilité), la prolificité et la mortalité des agneaux. En fait, la productivité numérique s'exprime en nombre d'agneaux produits par brebis mise à l'accouplement. Comme diviseur, une brebis ayant été mise à l'accouplement plus d'une fois durant l'année sera comptée comme une seule brebis. C'est là le concept du « rythme d'agnelage ». Le numérateur (« nombre d'agneaux produits ») peut prendre la forme du nombre d'agneaux nés totaux, nés vivants, vivants à n jours, au sevrage ou bien le nombre d'agneaux vendus ou gardés (vente ou sujets gardés pour la reproduction).

Une augmentation de la productivité numérique mène généralement à une augmentation des revenus (Thonney *et al.*, 1979; Everett-Hincks et Dodds, 2008). Dans une étude menée en France (Benoit *et al.*, 1999), le coefficient de corrélation de la productivité numérique avec la marge brute a été évalué à 0,67. D'un autre côté, pour un troupeau à très faible productivité (0,70 agneau vendu par brebis mise à l'accouplement) et dont la grande majorité des revenus proviennent de la vente de laine des brebis, une augmentation de la productivité permettrait de dégager un très faible revenu additionnel (Morrison et Young, 1991).

La modélisation faite par Conington *et al.* (2004) à partir de données de l'Angleterre suggère que l'amélioration de la marge brute par l'augmentation de la productivité se fait principalement lorsque la productivité initiale est faible. Les auteurs ont observé un plateau et même une diminution de la marge brute lorsque le nombre d'agneaux élevés augmentait au dessus de 1,34 agneau élevé en système intensif et à environ 0,95 en système extensif. Au-delà de ces niveaux, les coûts d'un nombre plus élevé d'agneaux augmenteraient plus rapidement que les bénéfices.

Quoique les études relevées ne permettent pas de prédire l'effet exact qu'aurait une amélioration de la productivité numérique sur la rentabilité des élevages québécois, il est intéressant de faire ressortir certains éléments pertinents à notre contexte. D'abord, une

meilleure fertilité permet de réduire les dépenses associées aux brebis improductives. Une augmentation du nombre d'agneaux nés par agnelage de même qu'une augmentation de la survie des agneaux répartissent les charges reliées aux brebis sur plus d'agneaux (Dickerson, 1996). De plus, accroître la productivité numérique dans un troupeau fermé permet de vendre une plus grande proportion des agneaux produits, d'augmenter la pression de sélection sur les sujets de remplacement et finalement d'améliorer les revenus des ventes (White, 1984). Donc, à mesure que la productivité numérique augmente, la proportion d'agneaux requise pour le remplacement diminue. Cependant, lorsque le nombre d'agneaux sevrés par brebis mise à l'accouplement passe au-dessus de 0,9, ce qui est très faible, cette proportion est relativement insensible aux changements de productivité (White, 1984). Ainsi, ce sont les troupeaux à très faible productivité qui bénéficieront le plus de cette amélioration.

Smith *et al.* (1982) ont calculé qu'en combinant une baisse du taux de mortalité des agneaux avec une amélioration du taux de croissance d'une unité de pourcentage, l'augmentation du revenu net se chiffre à 4,3 %. Ils ont aussi estimé qu'une hausse de 1 % de la prolificité combinée à une réduction de 1 % du taux de remplacement entraînait une amélioration du revenu net de 2,8 % (Smith *et al.*, 1982).

Un des aspects de la productivité numérique sur lequel il est possible de travailler est le rythme d'agnelage. Lui-même dicté par le calendrier de production et les taux de fertilité, le rythme d'agnelage influence la rentabilité puisqu'il agit directement sur le nombre d'agneaux produits par brebis par année. Une étude par modélisation réalisée en Ontario a montré qu'un rythme théorique accéléré de 1,5 agnelage par année mène à une marge brute de 160,87 \$ par brebis comparativement à des marges de 102,00 \$ et 74,82 \$ par brebis pour un rythme d'un agnelage par année, respectivement pour des agnelages d'hiver et de printemps (Fisher, 2000). La productivité des systèmes d'agnelages d'hiver et de printemps était respectivement de 1,7 et 1,4 agneau vendu par brebis par année. D'un autre côté, la productivité du système d'agnelages accélérés atteignait 2,55 agneaux par brebis par année. Il faut toutefois garder en tête qu'un rythme d'agnelage de 1,5 agnelage par année est très difficile à atteindre.

Un autre aspect de la productivité numérique est la prolificité, soit le nombre d'agneaux nés par agnelage. D'un point de vue économique, la taille de portée est un aspect de la production de viande d'agneau qui est très important (Olesen *et al.*, 1995). La relation entre le nombre d'agneaux nés par agnelage et la marge brute de l'entreprise ne serait pas linéaire, ce qui est conséquent avec les résultats de Conington *et al.* (2004) pour la productivité. Ainsi, une augmentation de la prolificité est généralement plus bénéfique pour une entreprise à basse prolificité que pour une à haute prolificité (Wang et Dickerson, 1991c; Amer *et al.*, 1999; Morel et Kenyon, 2006; Quinton *et al.*, 2006). Ceci peut être expliqué par la plus grande incidence de portées très nombreuses lorsque la prolificité est déjà élevée. La contribution à la marge brute des agneaux nés triples est plus faible que pour les agneaux nés doubles. Cependant, il est important de réévaluer les stratégies de gestion optimales pour chaque type d'entreprise (Morel et Kenyon, 2006). En fait, l'utilisation de brebis prolifiques est avantageuse seulement si la conduite d'élevage est adaptée pour exploiter la plus grande productivité de ces races (Fahmy, 1996a).

2.1.1.3. *Autres paramètres*

Plusieurs autres paramètres influencent la rentabilité de l'élevage ovin. Un des plus évidents, puisqu'il agit directement sur les résultats économiques, est le contexte de prix des produits et des intrants. Par exemple, une augmentation de 1 % des prix des agneaux de lait et des agneaux lourds peut mener à des améliorations de 3,5 et 3,4 % de la marge brute, respectivement (Smith *et al.*, 1982). Aussi, une réduction du même ordre des prix de certains intrants mène à des améliorations de la marge brute de 0,5 % pour le lait de remplacement, de 0,9 % pour la ration des agneaux et de 0,5 % pour la ration des brebis (Smith *et al.*, 1982). Les coûts d'alimentation représentent la plus grande dépense associée à la production et à l'efficacité. Aussi, le temps requis pour l'alimentation et l'efficacité à laquelle les agneaux atteignent le poids d'abattage sont critiques pour l'optimisation de la rentabilité (Ramsey *et al.*, 1998). Les résultats de Fisher (2000) montrent qu'il est effectivement possible d'améliorer les revenus en synchronisant les ventes d'agneaux avec les périodes où les prix sont meilleurs. Les marchés de Noël (agneaux lourds en fin d'automne) et de Pâques (agneaux de lait et légers en avril et mai) sont les moments de l'année où les prix sont les plus intéressants au Canada (Fisher, 2000).

Il est important de noter qu'au Québec, la présence de l'agence de vente des agneaux lourds implique un prix stable pour chaque période de six mois. Seuls les agneaux de lait et légers voient leurs prix fluctuer au gré du marché.

Un autre aspect est lié à la réforme et la mortalité des brebis. Le taux de remplacement réduit le nombre d'agneaux vendus par brebis mise à l'accouplement de la valeur du taux lui-même (Amer *et al.*, 1999). Par exemple, un taux de remplacement de 20 % se traduit par une baisse de 0,20 agneau par brebis mise à l'accouplement. D'un autre côté, quand l'âge moyen du troupeau augmente, la probabilité de ne pas avoir de revenus pour les brebis augmente, car elles ont plus de chance d'être éliminées du troupeau pour cause de mortalité (Nugent et Jenkins, 1993).

Évidemment, la saison de l'année a un impact sur la rentabilité. D'abord, les prix varient selon la période de l'année. De plus, la reproduction de l'espèce ovine étant saisonnière, les performances de reproduction varient beaucoup durant l'année. La saison des agnelages a aussi un impact sur le revenu net dans les systèmes utilisant les pâturages. En effet, les coûts d'alimentation et de main-d'œuvre sont moindres lorsque les agnelages se font au pâturage (Thonney *et al.*, 1979). Toutefois, les taux de mortalité risquent d'être plus élevés pour les agneaux puisque les agnelages au pâturage impliquent souvent une surveillance moindre.

L'augmentation du taux de croissance des agneaux a plus d'impact sur la marge brute des entreprises à haute productivité puisqu'elle affecte un plus grand nombre d'agneaux (Morel et Kenyon, 2006). Une amélioration du gain moyen quotidien (GMQ) en période postsevrage devient d'autant plus intéressante lorsque la prolificité augmente (Purchas, 2000). Ceci s'explique par la baisse du poids au sevrage résultant d'une plus grande proportion de jumeaux. Ainsi, le gain postsevrage représente une plus grande part du gain total. Une baisse du taux de croissance peut avoir une grande influence sur la rentabilité des entreprises ovines. En effet, une baisse de 10 % du taux de croissance (315 g/j vs 350 g/j) d'un agneau de 3,5 kg à la naissance et abattu au poids de 45 kg aura pour conséquence

d'allonger la période d'engraissement d'environ 13 jours. Il a déjà été établi que le GMQ était corrélé à l'efficacité alimentaire (Eisen, 1977; Fan *et al.*, 1995; Snowden et Van Vleck, 2003). Il est alors probable que les jours supplémentaires d'engraissement d'agneaux ayant un GMQ plus faible nécessiteront des quantités d'aliments plus importantes que pour les agneaux ayant un plus grand GMQ. À ces coûts supplémentaires doivent être ajoutées les charges fixes associées à une plus longue occupation des bâtiments.

Il est important de mentionner ici qu'il est souvent périlleux d'utiliser les conclusions des études vues précédemment puisque le contexte des études est très rarement le même que celui dans lequel nous voulons appliquer ces conclusions. Toutefois, parmi tous les aspects pouvant influencer la rentabilité d'un élevage ovin soulevés dans la présente section, la prolificité semble être d'une importance majeure. En tenant compte d'un maximum de paramètres et du contexte québécois (systèmes de production, races, climat, prix, techniques d'élevage...), l'augmentation de la prolificité des troupeaux québécois serait-elle réellement profitable et dans quelles mesures?

2.1.2. La modélisation

Les calculs pour évaluer la rentabilité d'une augmentation de la prolificité deviennent très vite complexes au fur et à mesure que des ajustements sont faits pour prendre en compte tous les autres paramètres de production qui y sont reliés. La section 2.2.2. fait état de ces interactions. Puisque les producteurs voient leurs revenus modulés par tous ces autres facteurs, il est nécessaire d'en tenir compte pour évaluer précisément l'impact d'une augmentation de prolificité. Comme la somme de calculs à faire devient alors monumentale, il est impératif d'utiliser une technique telle que la modélisation pour atteindre les objectifs souhaités.

2.1.2.1. Notions de base

Un modèle est bâti de façon à mimer le comportement de l'élément à étudier. Plus spécifiquement, un modèle numérique est une schématisation d'un système par des relations mathématiques. Les *entrées*, soit les paramètres et les contraintes, influencent le

comportement du modèle. Les paramètres font l'objet de la décision de l'utilisateur tandis que les contraintes dépendent d'éléments extérieurs. Les produits du modèle sont appelés *sorties*. Ainsi, l'utilisateur peut étudier les effets que peuvent avoir divers changements des valeurs des paramètres et des contraintes sur les sorties du modèle. Par exemple, le modèle de Tess et Kolstad (2000a) demande à l'utilisateur d'entrer les paramètres décrivant le génotype, les groupes de gestion, les systèmes d'accouplement, les caractéristiques des aliments et les décisions de gestion. Ensuite, le modèle utilise ces paramètres pour simuler les performances des animaux et l'efficacité de l'entreprise.

La conception d'un modèle comprend deux étapes. Durant la première, la structure des équations (variables et formes fonctionnelles) doit être définie. Ensuite, les paramètres doivent être quantifiés. Cette étape doit se faire de façon empirique puisque les valeurs des paramètres seront dérivées de données expérimentales ou de données publiées (Bywater et Cacho, 1994). L'ensemble du processus constitue la simulation. Bien sûr, la simulation ne cherche pas à remplacer entièrement l'expérimentation puisqu'elle est elle-même basée sur les résultats d'expériences antérieures.

Surtout depuis la commercialisation des ordinateurs personnels, la modélisation a été utilisée à maintes reprises dans le domaine des productions animales. Son utilisation est très variée. Certains ont modélisé le cycle oestral de la brebis (Dzakuma et Harris, 1989) tandis que d'autres ont plutôt travaillé sur des modèles de ferme (Cournut et Dedieu, 2004). Contrairement aux organismes individuels qui peuvent être décrits précisément par une série d'équations, les modèles de ferme doivent tenir compte d'énormément d'informations et d'une série de transactions complexes qui représentent la gestion quotidienne de la ferme (Cacho *et al.*, 1995). Chez l'ovin, quelques modèles ont été bâtis comme outils de recherche pour explorer les interactions existant entre les performances des animaux et la gestion de la nutrition ou du pâturage (Matthews *et al.*, 2006). D'autres modèles permettent l'identification de variables affectant la rentabilité de l'entreprise ovine (Almahdy *et al.*, 2000b; Morel et Kenyon, 2006).

Avantages

La gestion d'une ferme combine des aspects zootechniques et décisionnels à différents niveaux organisationnels. L'agriculteur doit composer avec de multiples phénomènes qui interagissent constamment sans compter qu'il doit souvent attendre longtemps avant de pouvoir apprécier les résultats de ses actions (Girard et Hubert, 1999). Le même principe s'applique en recherche lorsqu'il est nécessaire de faire de longs et coûteux essais pour vérifier l'effet d'un changement de pratique sur les performances techniques et économiques d'un troupeau. La modélisation informatique permet justement de comparer différentes stratégies de gestion en évitant les coûts en matériel et en temps qui peuvent être très importants dans certaines situations, comme lorsqu'on désire prendre en compte l'effet des différentes saisons (Thonney *et al.*, 1979; Bowman *et al.*, 1989; Girard et Hubert, 1999; Tess et Kolstad, 2000a). Les simulations entraînent généralement des coûts moins élevés que les essais à la ferme lorsque ces coûts sont ramenés sur le nombre de facteurs étudiés avec le même modèle (Bowman *et al.*, 1989).

La simulation s'avère donc être une solution rapide et économique pour évaluer bon nombre de pratiques. Cette technique est alors un excellent complément aux expérimentations en milieu de recherche ou commercial (Girard et Hubert, 1999). De plus, la nature changeante du contexte agricole amène les producteurs et les intervenants du milieu à constamment devoir réévaluer leurs façons de faire ou de penser (Girard et Hubert, 1999). Encore là, la simulation permet de valider les conclusions dans différents contextes.

Un outil d'aide à la décision permet, entre autres, d'effectuer des simulations pour comparer une série de paramètres qui peuvent être d'ordre technique ou décisionnel. Avec un tel système, il est possible de vérifier l'effet de changements dans les niveaux de production ou dans la structure de la ferme (Girard et Hubert, 1999). La plupart des modèles de ce type comparent l'efficacité technico-économique de systèmes alternatifs.

En production ovine, les systèmes de production peuvent grandement varier. D'abord, la courte durée de gestation (généralement de 142 à 150 jours; Shrestha et Heaney, 1990)

permet de viser un intervalle entre les agnelages aussi court que 7,2 mois (système « STAR », Lewis *et al.*, 1996) ou 8 mois (« agnelages accélérés », « trois agnelages en deux ans »; Notter et Copenhaver, 1980a). Toutefois, le caractère saisonnier de la reproduction des brebis (saison sexuelle naturelle de septembre à mars) fait en sorte que les systèmes avec un seul agnelage par brebis par année (intervalle de 12 mois) sont courants. De plus, le troupeau reproducteur peut être divisé en un nombre variable de groupes d'accouplement qui seront décalés dans le temps pour répartir la production d'agneaux sur toute l'année. Les pratiques de réforme et de remplacement diffèrent aussi d'un élevage à l'autre. Également, les performances de reproduction varient grandement selon les saisons, les races de brebis et les techniques de désaisonnement utilisées. La taille de portée peut varier d'un à plus de quatre agneaux nés par brebis. Ainsi, en fin de compte, le nombre d'agneaux nés par brebis par année s'avère très variable.

Pour déterminer l'avantage économique d'augmenter la taille de la portée, il serait possible de réaliser une expérimentation comparant des portées simples, doubles, triples et quadruples. Les données issues de cette expérimentation permettraient des calculs économiques. C'est ce que Smeaton et Clayton (1998) ont effectué pour déterminer la rentabilité des vaches de boucherie ayant des jumeaux. Des vaches allaitant deux veaux ont été comparées à d'autres allaitant un seul veau. Le poids au sevrage des veaux et de la portée, les pertes fœtales entre l'échographie et le vêlage, le taux de survie des veaux au vêlage et, pour la période allant de deux semaines après le vêlage jusqu'au sevrage, l'alimentation et le temps de travail supplémentaires requis ont été mesurés. À partir des données obtenues et des hypothèses de prix retenues, les calculs ont montré un avantage de 44 \$/vache pour les portées simples (Smeaton et Clayton, 1998). Quoique de telles expérimentations puissent fournir les données nécessaires aux comparaisons de rentabilité, elles s'avèrent techniquement difficiles à réaliser, très coûteuses et peu flexibles.

Déterminer l'impact d'un seul paramètre de production sur la rentabilité est difficile puisque chaque facteur peut interagir avec un autre et souvent plusieurs autres (Morel et Kenyon, 2006). Les modèles informatiques simulant des systèmes de production permettent l'étude d'un facteur et de ses interactions sur la rentabilité. Cette façon de faire permet

l'adaptation aux différents types d'entreprise, tout en identifiant des secteurs qui bénéficieraient de recherches supplémentaires (Morel et Kenyon, 2006). Pour évaluer le bénéfice qu'aurait une nouvelle technologie sur une entreprise agricole, le défi est de bien prévoir les gains économiques pour une variété de conditions environnementales, physiques et financières (Bowman *et al.*, 1989).

L'avantage principal des modèles de systèmes de production est probablement qu'ils permettent une expérimentation avec une plus grande étendue de variables et dans des conditions plus variées qu'il serait possible d'obtenir dans la pratique (Bywater et Cacho, 1994). Ainsi, la plage de saisons étudiées, la variété des options comparées et le degré de détail considéré sont beaucoup plus grands que ce qui aurait été possible par des essais à la ferme traditionnels (Bowman *et al.*, 1989; Tess et Kolstad, 2000a).

Les modèles de systèmes peuvent fournir un point de vue qui serait difficile ou même impossible à obtenir avec d'autres moyens. Ils permettent aussi d'explorer des relations qui ne pourraient pas être étudiées d'une autre façon (Cacho *et al.*, 1995). Au fur et à mesure que la science progresse, le besoin pour l'intégration et l'interprétation se poursuit (Tess et Kolstad, 2000a).

Utilisations possibles

Dans le contexte des productions animales, les simulations peuvent avoir différentes utilités. Principalement, les modèles sont utilisés en recherche, comme aide à la prise de décisions à la ferme et comme outil d'aide à l'enseignement.

Selon Bywater et Cacho (1994), les utilisations possibles de modèles en recherche sont :

- Intégration de données et de concepts existants comme explications quantitatives du comportement;
- Identification des besoins de recherche et d'expérimentation;
- Sélection des expérimentations possibles;
- Genèse et test d'hypothèses;
- Déduction de paramètres non mesurables;
- Interprétation et évaluation de résultats expérimentaux;
- Identification de représentations améliorées de fonctions biologiques.

L'étude des systèmes procure une structure de base pour l'intégration de données expérimentales provenant de différentes études et fournit un bon moyen de faire des recommandations scientifiques, entre autres, sur la rentabilité de stratégies d'élevage (Davis *et al.*, 1994a). Les processus de modélisation requièrent l'intégration et la synthèse de découvertes scientifiques provenant de plusieurs domaines de recherche. Comme les chercheurs tendent à travailler sur des thèmes de plus en plus spécialisés, le travail de modélisation est appréciable pour l'application de la recherche fondamentale. Les efforts mis à modéliser des systèmes biologiques permettent d'identifier les zones où des informations sont incomplètes ou manquantes (Tess et Kolstad, 2000a). Le modèle utilisé par Bowman *et al.* (1989) a permis une meilleure objectivité lors de la comparaison du bénéfice relatif de variables de production et a facilité la démystification des interactions complexes qui surviennent entre elles. Ainsi, il était plus facile de comprendre et expliquer comment les résultats étaient obtenus. Également, les modèles simples peuvent être utilisés pour faire une première sélection de méthodes de gestion ou de technologies pour ensuite en faire l'évaluation expérimentale (Bywater et Cacho, 1994). De cette façon, il est possible d'identifier des technologies qui ne sont pas rentables ou simplement indésirables avant même de les utiliser (Bowman *et al.*, 1989).

La simulation ne peut cependant pas remplacer les expérimentations. Dans le processus de simulation, les expérimentations sont nécessaires pour fournir les données essentielles à

l'élaboration des modèles, pour combler les zones d'informations manquantes identifiées par les modèles et pour tester les technologies qui se sont montrées intéressantes lors de la simulation.

Chaque jour, les producteurs doivent prendre des décisions qui influenceront les résultats de leur entreprise. Souvent, il est difficile de prévoir quel sera l'effet de ces décisions. Ici encore, les modèles informatiques peuvent aider. Par exemple, l'outil de Benoit (1998) permet de tester l'incidence économique de facteurs techniques en prenant compte de leur impact sur le fonctionnement du système de reproduction. Les modèles sont aussi utiles pour évaluer les conséquences de nouvelles pratiques d'élevage sur la production à long terme (Cournut et Dedieu, 2004). À noter que lorsqu'un modèle devient un système d'aide à la décision, un compromis est à faire. D'un côté, les chercheurs tentent de décrire de plus en plus précisément un phénomène tandis que de l'autre, l'utilisateur du système d'aide à la décision cherche à utiliser un outil simple basé sur des paramètres disponibles sur une ferme privée. Cette différence entre les deux types d'outils doit être prise en compte. Idéalement, deux outils différents devraient être élaborés (Agabriel et Ingrand, 2004). Un bon nombre de modèles a été développé pour quantifier les produits de stratégies alternatives et de technologies de production en systèmes pastoraux (Bywater et Cacho, 1994). Ce type de modèle est généralement constitué d'un sous-modèle de croissance des plantes au pâturage et d'un sous-modèle représentant les animaux. Ainsi, il est possible d'étudier la synchronisation de la croissance des plantes et de leur consommation par les animaux.

La simulation a cette qualité de permettre l'étude simultanée de plus de facteurs qu'il serait possible d'en étudier avec des expérimentations traditionnelles. Le modèle décrit par Pang *et al.* (1999) a le potentiel de considérer simultanément plusieurs facteurs affectant la production de bœuf dans un système intégré. Ceci peut être utile pour les intervenants et gérants de ferme pour prédire les effets de différentes conduites d'élevage et stratégies de sélection sur l'efficacité bioéconomique. Une bonne utilisation de l'outil, lorsque les paramètres sont bien définis, peut identifier une stratégie pour améliorer la probabilité de succès pour des conditions données (Pang *et al.*, 1999).

La simulation a aussi sa place en enseignement. Certains modèles comme celui de Purchas (2000) ont été conçus pour être utilisés comme outil d'aide à l'enseignement. L'utilisation du programme permet de diminuer grandement les temps de calcul. Lors du développement, l'objectif est de trouver un juste équilibre entre, d'un côté, la simplicité (pour que les composants soient facilement compris) et, de l'autre, la crédibilité et la précision.

Quelques difficultés

Évidemment, la modélisation n'a pas que de bons côtés. Tous les modèles ont leurs faiblesses et la plupart peuvent produire des résultats irréalistes, lorsqu'utilisés de façon inappropriée ou en dehors de leurs limites. C'est donc la responsabilité du chercheur d'utiliser un modèle approprié à la question étudiée (Tess et Kolstad, 2000b). Selon Tess et Kolstad (2000b), il est irréaliste de penser qu'un seul modèle généraliste permette d'étudier toutes les questions sur un système aussi complexe que la production bovine, par exemple.

Les modèles tentent de mimer la réalité sans toutefois être la réalité elle-même. Ils facilitent l'intégration des concepts scientifiques et aident les scientifiques, professeurs et producteurs à mieux comprendre les systèmes de production complexes qu'ils étudient ou gèrent (Tess et Kolstad, 2000b). Les résultats de simulations devraient toujours être observés avec une dose de scepticisme. Aussi, selon Sanders et Cartwright (1979), les productions animales sont trop dynamiques, trop irrégulières dans leurs changements et trop différentes d'une ferme à l'autre pour qu'un classement des meilleures pratiques de gestion ou génotypes soit établi en se basant sur les résultats de simulations et que ce classement serve à orienter les décisions des producteurs. À noter que les modèles informatiques ont grandement évolué durant les trois dernières décennies.

Cependant, si de telles études mènent à d'autres recherches ou favorisent les échanges interdisciplinaires, la simulation apporte une grande contribution (Tess et Kolstad, 2000b). De même, en élargissant les connaissances sur les productions animales, la simulation peut mener à des décisions plus éclairées de la part des producteurs. Cette amélioration des

connaissances semble plutôt provenir de l'intégration des informations déjà connues (Sanders et Cartwright, 1979).

2.1.2.2. *Types de simulations*

Les modèles informatiques peuvent être construits de multiples façons. La section qui suit en explique quelques-unes.

Individuelle ou par groupes

Lors de la modélisation d'un troupeau, il est possible de gérer chaque individu ou de s'en tenir à des groupes. Tenir compte de chaque sujet implique souvent une approche stochastique (calcul des probabilités). Cet aspect est présenté plus loin dans la section. L'autre option, la gestion par groupes, est basée sur une représentation descriptive de groupes homogènes (Agabriel et Ingrand, 2004). Chaque groupe se voit attribuer des valeurs moyennes pour les entrées. Les groupes peuvent être fixes ou dynamiques. Par exemple, dans la simulation de Cournut et Dedieu (2004), un groupe d'accouplement est dynamique puisque sa composition est continuellement en changement (entrées des agnelles et sorties des brebis de réforme). À noter que les modèles dynamiques tiennent compte du temps.

La gestion des animaux en tant qu'individus est un préalable pour simuler la variabilité correctement (Shafer *et al.*, 2007). Même si un modèle individuel est un bon début pour bien gérer la variabilité, ce n'est pas suffisant pour assurer la simulation d'une variabilité réaliste. Généralement, la simulation stochastique est plus appropriée (Shafer *et al.*, 2007). D'un autre côté, la modélisation par groupes peut être adéquate. Par exemple, contrairement aux troupeaux de vaches de boucherie où les décisions sont prises pour chaque individu, les troupeaux ovins sont gérés par groupes d'animaux. L'utilisation d'un modèle individuel où chaque animal est modélisé avec ses propres caractéristiques n'est alors pas nécessaire (Agabriel et Ingrand, 2004).

Déterministe ou stochastique

Les variables d'entrée peuvent être déterminées pour un groupe d'individus par l'utilisateur ou de façon probabiliste pour chaque individu. Prenons l'exemple de 100 brebis auxquelles serait attribuée une fertilité de 80 %. En gestion déterministe, le modèle alloue le titre de gestantes à 80 brebis et de non gestantes aux 20 autres. Par contre, les simulations stochastiques dynamiques de troupeaux simulent la production du troupeau par des changements d'états et de production des animaux individuels à travers le temps. Ceci permet aux chercheurs d'étudier comment les effets de l'individu sont exprimés dans le troupeau. Chaque animal est décrit en tout temps par un nombre défini de variables d'état (Sorensen *et al.*, 1992). Dans notre exemple, le modèle stochastique octroie au hasard à chaque brebis son état (gestante ou non gestante). Ainsi, chaque brebis a une probabilité de 0,80 d'être gestante. Cette probabilité peut être modifiée par une autre variable. Par exemple, si la brebis n'a pas été en contact avec un bélier ni inséminée, la probabilité qu'elle soit gestante devient nulle. Cette façon de faire permet de mimer encore mieux la réalité en introduisant les notions d'incertitude et de variabilité. L'aspect probabiliste est particulièrement utile dans des modèles où la variabilité joue un grand rôle, comme ceux qui tiennent compte de la disponibilité du pâturage pour les animaux. En effet, un modèle déterministe ne tient pas compte des mauvaises années possibles comme des sécheresses sévères. Celles-ci peuvent affecter à la baisse la rentabilité de l'entreprise pour les quelques années suivantes (Cacho *et al.*, 1995).

Événements discrets

Une simulation à événements discrets est une conceptualisation d'un système basé sur l'organisation discrète du temps et sur la notion d'un événement en tant que modification de l'état du système (Cournut et Dedieu, 2004). En d'autres mots, la modélisation se fait par événements discrets, c'est-à-dire que le temps dans une simulation n'est pas continu, mais discrétisé. Les actions et les changements d'état du système ont lieu à l'occasion d'événements, lesquels sont gérés par un échancier (ex : saillie fécondante, agnelage, sevrage...). Le pas de temps minimal géré par le simulateur varie d'un modèle à l'autre (Ingrand *et al.*, 2002).

Mécanistique ou empirique

D'abord, un modèle ne peut être purement mécanistique ou purement empirique. Il est obligatoirement un amalgame des deux, avec une prépondérance pour un type ou pour l'autre. Les modèles mécanistiques utilisent souvent la programmation mathématique ou des modèles d'optimisation, qui sont généralement basés sur la programmation linéaire. Les modèles mécanistiques sont adaptés à l'extrapolation et aux prédictions à long terme (Janssen et van Ittersum, 2007). D'un autre côté, les modèles empiriques sont construits à partir des données qui sont incorporées dans ceux-ci, et tentent de trouver les relations dans les données observées qui ne sont pas encore connues (Austin *et al.*, 1998). En bref, le modèle empirique utilise des relations qui sont connues par expérience tandis que le modèle mécanistique se sert de relations mathématiques pour prédire l'effet d'un changement donné sur d'autres paramètres.

Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité n'est pas un type de simulation en-soi, mais plutôt une façon de l'utiliser. Cette analyse consiste à faire varier, un à la fois, les facteurs jugés importants de $\pm 10\%$, par exemple, de leur valeur par défaut alors que les autres facteurs demeurent inchangés (Pang *et al.*, 1999; Morel et Kenyon, 2006). Elle est utile pour distinguer les paramètres pour lesquels le système est grandement sensible (Pang *et al.*, 1999). Par exemple, il est possible d'identifier les facteurs qui ont un impact majeur sur la rentabilité. D'un autre côté, ils ne fournissent pas d'information sur comment cette amélioration peut être atteinte ni à quel point il est difficile d'atteindre ce but (Morel et Kenyon, 2006). Aussi, une variation fondée sur un pourcentage de la valeur de base est irréaliste puisque certains facteurs sont beaucoup plus faciles à faire varier que d'autres (Lormore et Galligan, 2001). Un exemple de l'utilité de l'analyse de sensibilité est celle faite par Davis *et al.* (1994b). Leur analyse a montré que le classement des races de vache par le profit net par vache n'a pas été modifié par les prix des fourrages et des veaux. Ceci suggère que les résultats de l'étude peuvent être appliqués pour un bon éventail de prix de fourrages et d'animaux.

Une bonne méthode de présentation des résultats d'une analyse de sensibilité est le diagramme « tornade » dans lequel des barres horizontales de chaque côté de l'axe des

ordonnées montrent la déviation du paramètre étudié par rapport à la valeur initiale (Figure 2.1). Ce diagramme dispose des barres horizontales de chaque côté de l'axe des Y. Une autre technique consiste à faire varier chaque paramètre dans un intervalle réaliste, comme un demi-écart-type, puis de montrer les effets de ces variations sur l'indicateur économique à l'aide d'un graphique « araignée » (Figure 2.2). Pour ce type de graphique, les déviations relatives des paramètres d'entrée sont présentées en abscisse tandis que leurs effets sur la variable dépendante sont en ordonnée. L'analyse de sensibilité peut ainsi contribuer à la validation du modèle.

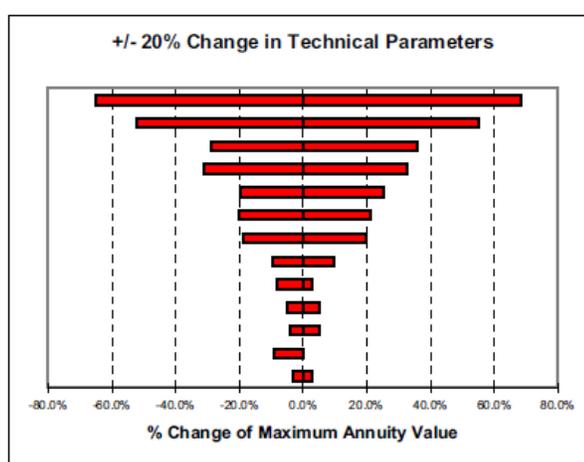


Figure 2.1. Exemple d'un diagramme « tornade »

(Lormore et Galligan, 2001)

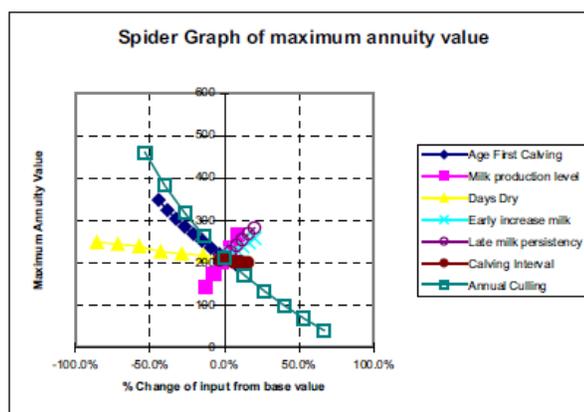


Figure 2.2. Exemple d'un graphique « araignée »

(Lormore et Galligan, 2001)

2.1.2.3. Validation

La validation est un processus par lequel les utilisateurs jugent de l'habileté du modèle à performer selon l'utilisation pour laquelle il a été construit (Tess et Kolstad, 2000b). En fait, le processus d'évaluation est essentiel pour tout type de modélisation. La phase de test est faite pour identifier et corriger les problèmes de prédiction du modèle. L'évaluation des simulations se fait souvent en comparant de façon formelle et informelle les données prédites avec des données réelles, lorsque celles-ci sont disponibles (Finlayson *et al.*, 1995; Cournut et Dedieu, 2004). Alors, la comparaison graphique et l'évaluation subjective fournissent des tests acceptables pour vérifier la validité du modèle (Harrison, 1990). Évidemment, ce ne sont pas toutes les sources de données publiées dans la littérature qui sont adéquates pour la validation de la performance des modèles (Finlayson *et al.*, 1995). Par exemple, il faut éviter d'effectuer les comparaisons avec les données expérimentales qui ont été utilisées pour la construction du modèle (Tess *et al.*, 1983). D'ailleurs, les modèles de ferme sont souvent construits pour simuler le système de production entier. Comme il est ardu de trouver des données réelles de plusieurs entreprises incluant les entrées et les sorties, de tels modèles ne peuvent pas être validés d'un seul bloc (Tess et Kolstad, 2000b).

D'autres procédures permettent d'améliorer notre confiance en un modèle. L'exercice de décrire en détail le modèle est une forme de vérification de la validité du modèle en soi, tout comme effectuer une simulation avec des données de base et vérifier si les résultats sont raisonnables et représentatifs de ce qui est retrouvé en industrie (Tess *et al.*, 1983). Selon Tess et Kolstad (2000a), la meilleure façon de valider le modèle est de critiquer la logique, la littérature et les hypothèses sur lesquelles a été bâti le modèle. Les tests et expérimentations effectués par le modélisateur font aussi partie de l'évaluation du modèle (Harrison, 1990). Selon lui, les tests subjectifs sont plus utiles que les tests statistiques. Une raison énoncée est que les tests d'hypothèse sont faits pour discréditer de fausses hypothèses nulles tandis que les tests de validation tentent de confirmer de vraies hypothèses nulles (Harrison, 1990). Finalement, l'analyse de sensibilité peut être un bon moyen de faire ressortir des anomalies pour ensuite les corriger.

2.1.2.4. Indicateurs

Il existe une myriade de sorties possibles pour un modèle. Lors de la construction d'un modèle, il est important de déterminer quels indicateurs répondent aux objectifs de la simulation. Lorsqu'une comparaison est faite entre différentes stratégies de production, l'utilisation d'une seule année peut se solder par des informations erronées quant aux valeurs des indicateurs choisis pour le système (Bywater et Cacho, 1994).

D'abord, sur le plan technique, la productivité numérique est un indicateur très fréquemment utilisé. La notion de productivité numérique représente la performance du troupeau, puisque chaque brebis ne réalise pas cette performance moyenne. La productivité numérique s'exprime en nombre de jeunes produits par femelle par an (Tichit *et al.*, 2002). D'autres paramètres techniques peuvent être utilisés pour expliquer les variations de la productivité numérique et des indicateurs économiques.

Comme indicateur économique, il est possible d'utiliser le prix à l'équilibre (ou point mort ou seuil de rentabilité). Le prix à l'équilibre montre le prix que le producteur doit recevoir ou payer, selon le cas, afin de couvrir tous ses coûts, mais sans plus. À noter que pour calculer un prix à l'équilibre, il est impératif de connaître les coûts fixes.

Davis *et al.* (1994b) ont montré que les recommandations basées uniquement sur les mesures de conversion de l'énergie étaient à éviter. En effet, dans leur étude, les mesures de conversion de l'énergie n'ont pas classé les systèmes dans le même ordre que les performances économiques. Ainsi, minimiser les dépenses en aliments par unité de produit n'est pas nécessairement la meilleure solution pour maximiser le profit net. Dans le même ordre d'idée, le ratio du poids sevré sur les nutriments digestibles totaux ingérés par le troupeau est remis en question pour sa qualité à prédire la rentabilité de l'élevage, mais peut être utile pour estimer l'efficacité biologique du troupeau (Shafer *et al.*, 2007).

Aux fins de comparaison économique entre différents scénarios, la marge brute représente un bon indicateur. Elle s'avère une bonne prédiction du potentiel de profits. En fait, elle

serait l'indicateur global le plus représentatif du fonctionnement d'une activité (Frayssé et Guitard, 1992). La marge brute se calcule en soustrayant les charges variables des revenus de l'atelier bergerie. Ainsi, les revenus des autres postes financiers de la ferme tels que les cultures ne seront pas considérés, de même que les charges fixes. Toutefois, il est possible d'évaluer la variation potentielle de certaines charges fixes lorsqu'un scénario nécessite des investissements qui engendrent des intérêts et amortissements supplémentaires.

2.2. LA PROLIFICITÉ

Comme il a été soulevé précédemment, une amélioration de la prolificité permettrait d'améliorer les revenus de l'élevage par une augmentation du nombre d'agneaux vendus pour un même nombre de brebis. En 2002, la prolificité moyenne des troupeaux du Québec se situait à 1,81 agneau né par brebis par agnelage (Tremblay, 2003) et rien n'indique que cette moyenne ait changé depuis. En effet, la moyenne des entreprises enquêtées pour le modèle de coût de production 2006 (CECPA, 2007) était de 1,7 agneau né vivant par brebis agnelée. Compte tenu du potentiel de l'espèce, il serait certainement possible de hausser cette moyenne.

2.2.1. Moyens d'influencer la prolificité

Plusieurs moyens sont disponibles pour améliorer la prolificité. Ces moyens offrent chacun une amplitude de variation et une rapidité d'action distinctes.

2.2.1.1. Génétique

Races et croisements

La majorité des races ovines présentes en Amérique du Nord donnent naissance à un ou deux agneaux. Cependant, quelques-unes, dites prolifiques, ont des tailles de portées majoritairement supérieures à deux, ce qui implique un taux d'ovulation élevé. Les mécanismes physiologiques par lesquels les brebis prolifiques atteignent de hauts taux d'ovulation varient selon la race. Le nombre d'ovules recrutés et le taux d'atresie des follicules sont parmi les facteurs qui affectent le taux d'ovulation final et donc la prolificité (Castonguay *et al.*, 1990).

Au Québec, les deux races à haute prolificité les plus populaires sont l’Arcott Rideau et la Romanov (Tableau 2.1). L’Arcott Rideau est une race synthétique développée par Agriculture et Agroalimentaire Canada dans les années 1970 et 1980 (Shrestha et Heaney, 2003). Cette race connaît présentement une forte augmentation de popularité en Ontario et au Québec et elle est utilisée en croisement avec un bélier terminal pour la production d’agneaux de marché ou avec un bélier de race maternelle pour la production d’hybrides prolifiques. De son côté, la Romanov est principalement utilisée en croisements avec une race maternelle pour la production d’hybrides prolifiques étant donné son faible gabarit en race pure. En croisant des races de brebis peu prolifiques avec des races de béliers hautement prolifiques, il est possible d’augmenter la taille de portée de 50 à 100 %, et ce, à partir de prolificités de départ de 1,2 à 1,6 agneau par brebis (Fahmy, 1996a). Ceci s’avère être un moyen rapide et efficace pour augmenter la prolificité globale d’un troupeau, tout comme l’introduction de sujets prolifiques hybrides ou de race pure.

Tableau 2.1. Prolificité moyenne des principales races inscrites au programme d’évaluation génétique canadien GenOvis

Race	Nb agneaux nés/agnelage
Dorset	1,51
Suffolk	1,52
Hampshire	1,53
Polypay	1,85
Arcott Rideau	2,48
Romanov	2,97

(GenOvis, 2009)

Sélection intra-race

Un autre moyen d’augmenter la prolificité d’un troupeau est d’inclure ce caractère dans la stratégie de sélection génétique de l’élevage. Cependant, l’héritabilité du caractère « taille de portée » est relativement faible avec des valeurs généralement en dessous de 0,20 (Fahmy, 1990; Okut *et al.*, 1999; Welsh *et al.*, 2003; Janssens *et al.*, 2004). L’augmentation de la taille de portée par la sélection génétique est donc possible, mais à long terme

seulement. De plus, la sélection sur la prolificité mène à une plus grande variabilité de la taille de portée (SanCristobal-Gaudy *et al.*, 2001).

Gènes majeurs

Des gènes uniques contrôlant la prolificité ont été découverts au cours des dernières années. D'abord, Piper et Bindon (1990) ont découvert au début des années 1980 que la très grande prolificité des brebis Mérinos Booroola était due à un gène majeur. Chaque copie du gène « FecB » augmente le taux d'ovulation de 1,0 à 1,5, ce qui se traduit par une augmentation de la taille de portée de 0,75 à 1 agneau chez les races à prolificité faible ou modérée (Piper et Bindon, 1987 cités par Purvis et Hillard, 1997). Un autre gène majeur a été mis en évidence chez la race Romney (Davis *et al.*, 1991). Une copie du gène « FecI » augmente le taux d'ovulation et la taille de portée de 1,0 ovule et 0,6 agneau, respectivement (Purvis et Hillard, 1997). Depuis ces premières découvertes, d'autres gènes majeurs contrôlant la prolificité ont été identifiés chez plusieurs autres races (Fahmy, 1996b).

2.2.1.2. Traitements hormonaux

Il est possible d'influencer la taille de portée en agissant sur les hormones impliquées dans la régulation du taux d'ovulation. Certains auteurs ont travaillé sur l'immunisation active contre l'inhibine. L'inhibine est une hormone sécrétée par l'ovaire qui supprime la sécrétion pituitaire de la FSH (*hormone folliculo-stimulante*) sans affecter la sécrétion de LH (*hormone lutéinisante*). Ainsi, l'immunisation contre une préparation enrichie à l'inhibine a permis d'augmenter le taux d'ovulation de brebis Mérinos de 1,61 à 1,87 lors d'un premier essai et de 1,40 à 2,87 lors d'un deuxième essai (O'Shea *et al.*, 1984). La taille de portée a aussi été augmentée. L'immunisation active contre l'androsténone (hormone sécrétée par l'ovaire et stimulant la sécrétion des hormones hypophysaires) a aussi permis de stimuler la sécrétion des hormones hypophysaires ainsi que l'activité ovarienne. Le taux d'ovulation et la prolificité s'en sont trouvés augmentés (Bonnes *et al.*, 1991).

La eCG (*Equine Chorionic Gonadotrophin*), anciennement appelée PMSG (*Pregnant Mare Serum Gonadotrophin*), est une gonadotrophine extraite du sérum de juments gestantes.

Elle est utilisée dans les traitements de synchronisation ou d'induction des chaleurs en combinaison avec un traitement de progestagènes comme celui de l'éponge vaginale ou du CIDR⁵. Injectée au retrait de l'éponge vaginale ou du CIDR, elle stimule le développement des follicules ovariens. À dose plus élevée, la eCG augmente le taux d'ovulation. L'effet de la eCG sur la taille de portée varie selon le niveau de prolificité de la race, de la saison de l'année (saison sexuelle vs anoestrable) et de la dose (Janssens *et al.*, 2004). En plus d'augmenter la taille de portée moyenne, l'administration de eCG en augmente la variance (Janssens *et al.*, 2004). L'induction hormonale chez les races prolifiques peut entraîner une baisse de la taille de portée moyenne tout en augmentant la variance (Janssens *et al.*, 2004).

2.2.1.3. Alimentation et état de chair

À l'intérieur d'une même race, il semble ne pas y avoir de relation claire entre la prolificité et le poids de la brebis (Michels *et al.*, 2000; Gaskins *et al.*, 2005). D'un autre côté, l'état de chair peut avoir un effet sur la prolificité, surtout durant la période qui entoure la saillie. Si l'alimentation des brebis est insuffisante, il y a un risque de diminuer le taux d'ovulation (O'Callaghan et Boland, 1999). Chez les femelles dont les réserves corporelles sont limitées, une augmentation relativement courte de l'apport énergétique durant la période précédant la saillie permet d'augmenter le taux d'ovulation par l'augmentation de la sécrétion des gonadotrophines (O'Callaghan et Boland, 1999). Généralement, il est recommandé d'appliquer une suralimentation (*flushing*) aux brebis ayant une cote de chair entre 2,5 et 3,0 (sur une échelle de 5) avant la saillie. Une suralimentation qui débute trois semaines avant le début de la saillie et se poursuit trois autres semaines après devrait donner les résultats escomptés. Les brebis ayant une cote de chair supérieure ne répondront pas au traitement, car leur système reproducteur est déjà à son plein potentiel et même qu'une alimentation exagérément élevée pourrait nuire à la qualité des embryons (O'Callaghan et Boland, 1999).

⁵ Un dispositif (éponge ou dispositif en silicone - CIDR) est inséré dans le vagin de la brebis pour une durée de 12 à 14 jours durant laquelle une substance analogue à la progestérogène diffuse à travers la muqueuse vaginale pour bloquer l'ovulation des femelles. Au retrait du dispositif, une injection de eCG est faite et les brebis sont mises à l'accouplement 36 heures plus tard.

2.2.1.4. Saison de reproduction

Le taux d'ovulation et, subséquemment, la taille de portée varient avec la saison de reproduction (Notter et Copenhaver, 1980a; Hall *et al.*, 1986; Gabina, 1989; Fahmy, 1990; María et Ascaso, 1999). En général, le nombre d'agneaux nés par brebis par agnelage serait abaissé d'un tiers à un demi-agneau lors des agnelages d'automne de brebis adultes (Notter, 2002). Aussi, les mâles auraient une meilleure libido ainsi qu'une qualité de la semence supérieure en saison sexuelle (Derycke *et al.*, 1990), ce qui contribuerait à augmenter la taille de portée des femelles accouplées en saison sexuelle (Sormunen-Cristian et Suvela, 1999). Cependant, l'utilisation de la plupart des techniques artificielles de désaisonnement (éponges/CIDR avec eCG, photopériode) permet aussi à la brebis d'avoir un taux d'ovulation en contre-saison se rapprochant de celui qu'elle a normalement en saison sexuelle.

2.2.1.5. Âge et parité

Le nombre d'agneaux nés augmente avec l'âge et la parité des femelles (Notter et Copenhaver, 1980a; Gabina, 1989; Hall *et al.*, 1994; María et Ascaso, 1999; Gardner *et al.*, 2007). La prolificité s'améliorerait avec l'âge des brebis, résultat d'un taux d'ovulation plus élevé, d'une plus grande capacité de l'utérus et d'une amélioration des autres caractères maternels reliés à la reproduction (Fahmy, 1990). Cependant, il est difficile de discerner l'effet de l'âge de celui de la parité. Dans une étude de Shrestha et Heaney (1992), les brebis de deux ans et plus ont été plus prolifiques et fécondes comparativement aux primipares. Les prolificités étaient de 2,0, 2,8, 2,9 et 3,0, pour les brebis de un, deux, trois et quatre ans et plus, respectivement. Dans une autre étude, Shrestha *et al.* (1992) sont arrivés au même constat (Tableau 2.2). Chez les races Targhee, Suffolk et Polypay, la prolificité différait selon l'âge des brebis (Notter, 2000) qui variait d'un à plus de huit ans. La brebis obtient ses tailles de portées les plus élevées généralement entre quatre et huit ans. En comparaison à la prolificité maximale atteinte par chaque race de l'étude, les brebis d'un an avaient entre 0,47 et 0,69 agneau né par agnelage en moins (Notter, 2000). Généralement, à un âge autour de huit ans et plus, on observe un déclin de la taille de portée (Dickerson et Glimp, 1975; Notter, 2000).

Tableau 2.2. Prolificité moyenne de la femelle ovine selon son âge, chez des brebis Arcott Canadien, Outaouais et Rideau, ainsi que leurs croisements

Âge de la femelle (mois)	n	Prolificité
8	1115	1,6 ^a
16	894	2,3 ^b
24	633	2,5 ^c
32	481	2,5 ^c
≥ 40	456	2,6 ^c

^{a,b,c} Pour une même colonne, les moyennes n'ayant pas la même lettre sont différentes à $P < 0,05$
(Shrestha *et al.*, 1992)

2.2.1.6. Effet du mâle

Puisque ce sont les femelles qui donnent naissance à la progéniture, il est généralement assumé que l'amélioration de ce paramètre passe par la sélection des femelles. Cependant, la qualité de la semence et l'activité hormonale diffèrent selon les mâles, entraînant des moyennes de taille de portée différentes selon les mâles. Dans une étude chez la souris, les mâles ayant donné les plus grandes tailles de portée sont aussi ceux ayant donné les meilleurs taux de gestation (Schilling *et al.*, 1968). Chez le mouton, Shrestha *et al.* (1983) ont relevé trois études où les béliers influençaient la prolificité (Parker et Bell, 1966; Newton et Betts, 1968; Turner, 1969). Le mâle agirait surtout sur la proportion des ovules fécondés. L'effet d'une forte libido serait plus important pour des brebis avec un taux d'ovulation élevé puisque la maturité des ovules est plus variable. Une brebis saillie à plusieurs reprises par un bélier aurait donc plus de chances d'obtenir une plus grande proportion de ses ovules fécondée. Ainsi, certains béliers pourraient améliorer la prolificité des femelles auxquelles ils seront accouplés.

2.2.2. Effets de la prolificité

Une variation de la prolificité n'est pas sans effet secondaire puisque plusieurs paramètres zootechniques sont influencés par la taille de portée. Comme ces paramètres peuvent eux aussi agir sur les résultats économiques de l'entreprise, il est important de les identifier et de chiffrer les relations qu'ils ont avec la taille de portée.

2.2.2.1. Poids à la naissance des agneaux

L'utérus possède une capacité limitée pour la gestation. Ainsi, à mesure que la taille de la portée augmente, le poids à la naissance individuel des agneaux diminue (Wang et Dickerson, 1991a; Shafto *et al.*, 1996; Freetly et Leymaster, 2004; Gootwine, 2005; Gardner *et al.*, 2007). Ce constat reflète la capacité physiologique de la mère à nourrir adéquatement les produits de la conception, la capacité physique de la mère à porter plusieurs agneaux, les forces mécaniques différentes selon l'emplacement dans l'utérus et la génétique du fœtus (Gardner *et al.*, 2007). En fait, la croissance du fœtus est contrôlée par l'interaction entre le fœtus et l'environnement maternel (Gootwine, 2005).

Un placenta de jumeaux tend à avoir moins de cotylédons par fœtus que la plupart des fœtus simples (Alexander, 1974). Le nombre de cotylédons est plus élevé pour un placenta de jumeaux que pour celui d'un agneau unique (90,91 et 61,73, respectivement), mais exprimé par fœtus, le nombre de cotylédons est plus faible pour les agneaux jumeaux que les simples (Dwyer *et al.*, 2005). Le poids moyen des cotylédons du placenta de jumeaux est d'environ 30 % plus important que celui d'agneaux uniques. Il y a donc une compensation, mais celle-ci n'est pas complète (Alexander, 1974). Ceci est en accord avec les résultats de Dwyer *et al.* (2005) qui ont observé des poids de cotylédons par fœtus de 103,66, 74,71 et 40,62 g pour les simples, doubles et triples, respectivement. En plus, une augmentation du nombre de fœtus portés par la mère mène au déclin du nombre et du poids de cotylédons par fœtus (Rhind *et al.*, 1980; Greenwood *et al.*, 2000). Il est généralement admis que la taille du placenta a une forte influence sur le poids à la naissance (Alexander, 1974). Ainsi, la croissance du fœtus peut être limitée dans de plus petits placentas puisque ceux-ci mènent à un apport réduit en nutriments au fœtus en croissance ainsi qu'à un transfert plus lent des déchets métaboliques du fœtus vers la circulation maternelle (Gootwine, 2005). Il a aussi été montré que des fœtus d'un même génotype vont atteindre un poids plus élevé s'ils sont dans l'utérus d'une femelle de race de grande taille que d'une de petite taille (Gootwine, 2005). La variance du poids à la naissance des agneaux diminue à mesure que la taille de portée augmente, ce qui peut être expliqué par la réduction de l'espace utérin disponible par agneau chez les grandes portées (Gardner *et al.*, 2007).

Aussi, le poids à la naissance des agneaux est très sensible à la nutrition de la mère durant la gestation, particulièrement en fin de gestation (Alexander, 1974). Les agneaux de portées multiples s'en trouvent doublement affectés puisque la brebis portant plusieurs fœtus abaisse généralement sa consommation volontaire de matière sèche (CVMS).

La relation entre la prolificité et le poids à la naissance des agneaux est différente selon les races (Gootwine, 2005). Les moyennes obtenues à partir des données recueillies dans l'étude de Gootwine (2005) et dans quelques autres montrent que les poids des jumeaux, triplets, quadruplets et quintuplets représentent généralement 82, 68, 61 et 54 % du poids des agneaux nés simples, respectivement (Tableau 2.3).

Tableau 2.3. Poids à la naissance moyens d'agneaux issus de portées de tailles différentes selon différentes études

Génotype	n	Poids à la naissance (kg) moyens d'agneaux issus d'une portée de :					Source
		1	2	3	4	5	
Finnois		2,8	2,5	2,3	2,1	1,9	Greeff <i>et al.</i> , 1992 ^y
Romanov (agnelles)	199	3,6 (6) ^z	3,1 (68)	2,7 (105)	2,3 (20)		Freetly et Leymaster, 2004 ^y
Finnois		3,7	2,7	2,9			Poindron <i>et al.</i> , 1996 ^y
Finnois (agnelles)	760	3,7 (160)	2,9 (470)	2,5 (114)	2,4 (16)		Freetly et Leymaster, 2004 ^y
½Finnois ½Dorset		3,8	3,2	2,3	2,0		Cochran <i>et al.</i> , 1984 ^y
Croisements Romanov		3,9	3,1	2,7	2,2		Razungles <i>et al.</i> , 1985 ^y
Finnois	1 610	4,0 (56)	3,5 (387)	3,0 (662)	2,6 (398)	2,3 (107)	Sormunen-Cristian et Suvela, 1999 ^y
½Finnois ½Dorset		4,1	3,1	2,4	2,3		Cochran <i>et al.</i> , 1984 ^y
Romanov	680	4,1 (5)	3,5 (48)	3,0 (165)	2,8 (332)	2,5 (130)	Freetly et Leymaster, 2004 ^y
Races Arcott (en développement)	193	4,1 (64)	3,3 (98)	2,8 (31)			Heaney et Shrestha, 1987
Finnois	1 040	4,2 (36)	3,4 (248)	3,0 (540)	2,7 (216)		Freetly et Leymaster, 2004 ^y
Races Arcott (en développement)	2 250	4,3 (190)	3,6 (837)	3,1 (772)	2,8 (333)	2,7 (118)	Shrestha et Heaney, 1992
Croisements Romanov		4,5	3,7	3,1	2,8		Razungles <i>et al.</i> , 1985 ^y
Races Arcott (en développement)	635	4,5 (185)	3,5 (356)	2,9 (94)			Heaney <i>et al.</i> , 1982a
Arcotts et croisements	6 066	4,5 (609)	3,8 (2 146)	3,2 (2 050)	2,8 (862)	2,5 (399)	Shrestha <i>et al.</i> , 1992
Croisements Romanov		4,6	3,9	3,2	2,6		Razungles <i>et al.</i> , 1985 ^y
½ Finnois	167	4,6	4,0	3,2			Lindahl <i>et al.</i> , 1972
Races Arcott (en développement)	422	4,6 (131)	3,6 (209)	2,5 (82)			Heaney <i>et al.</i> , 1982a
Races Arcott (en développement)	615	4,6 (131)	3,8 (297)	2,8 (143)	2,6 (44)		Heaney <i>et al.</i> , 1982b
Polypay (11-18 mois)	4 538	4,8	3,9	3,5	3,3		Notter <i>et al.</i> , 2005 ^y
Finnois		4,8	4,0	3,3	3,0		Goot, 1973 ^y
Races Arcott (en développement)	555	4,9 (98)	4,2 (305)	3,4 (122)	3,2 (30)		Heaney <i>et al.</i> , 1982b
Races Arcott (en développement)	432	5,0 (116)	3,9 (223)	2,9 (76)	3,1 (17)		Heaney <i>et al.</i> , 1982c
Races Arcott (en développement)	904	5,2 (49)	4,2 (258)	3,0 (597)			Heaney et Shrestha, 1987
Polypay (22-96 mois)	14 209	5,3	4,7	4,0	3,6		Notter <i>et al.</i> , 2005 ^y
Croisements Suffolk		5,3	4,4	3,5	2,5		Gordon, 1958 ^y
½Finnois, ¼Finnois, ½Suffolk							
½Rambouillet	1 643	5,3	4,2	3,4			Notter et Copenhaver, 1980b
Croisements Romanov-Targhee	894	5,4 (28)	4,4 (207)	3,8 (473)	3,5 (170)	3,1 (16)	Berger et Schlapper, 1998
Coopworth, Sufflok, Polypay	1 624	5,7 (390)	4,4 (1 234)				Nawaz et Meyer, 1992
Dorset	410	5,8 (69)	4,7 (290)	4,2 (51)			Freetly et Leymaster, 2004 ^y
Suffolk	1 111	6,2 (112)	5,5 (750)	4,7 (237)	4,0 (12)		Freetly et Leymaster, 2004 ^y

^z Les valeurs entre parenthèses indiquent le nombre d'agneaux

^y Cités par Gootwine, 2005

Le poids à la naissance des mâles est en moyenne plus élevé de 7 % que celui des femelles (Heaney *et al.*, 1982a, b, c; Nawaz et Meyer, 1992; Shrestha et Heaney, 1992; Shrestha *et al.*, 1992; Shrestha *et al.*, 1996; Berger et Schlapper, 1998). Dans ces études, la différence moyenne de chaque population varie de 3 % à 11 %. Cette différence tendrait à s'amenuiser chez les tailles de portée plus élevées (Fogarty *et al.*, 1992).

L'âge des femelles a également un effet sur le poids à la naissance des agneaux. Ainsi, le poids à la naissance des agneaux provenant de brebis de deux ans est plus faible d'environ un demi-kilogramme que celui des brebis plus âgées (Everett-Hincks et Dodds, 2008). Finalement, il a également été montré que le poids à la naissance augmente avec l'état de chair des brebis (Everett-Hincks et Dodds, 2008).

2.2.2.2. *Mortalité des agneaux*

L'effet du type de naissance et d'allaitement

Le taux de mortalité des agneaux varie avec le type de naissance. Pour la mortalité à la naissance ou périnatale (trois premiers jours de vie), certains auteurs ont observé un taux de mortalité plus élevé pour les agneaux nés simples que pour ceux nés doubles (Gardner *et al.*, 2007; Sawalha *et al.*, 2007). La différence était d'environ 1 à 2 %. Notter et Copenhaver (1980b), quant à eux, n'ont pas noté de différence tandis que María et Ascaso (1999) ont obtenu des taux de mortalité de 5 et 17 % pour les agneaux nés simples et doubles, respectivement. Les triplets auraient un taux de mortalité d'approximativement 10 % de plus que les jumeaux (Notter et Copenhaver, 1980b; María et Ascaso, 1999; Gardner *et al.*, 2007; Sawalha *et al.*, 2007; Everett-Hincks et Dodds, 2008). Selon les études, l'écart varie de 5 % à 23 %. En ce qui concerne les quadruplets, Gardner *et al.* (2007) ont observé un taux de mortalité périnatal de 11 % plus élevé que pour les triplets.

Dans l'étude de Vesely et Peters (1981), les taux de mortalité durant la période de la naissance au sevrage étaient de 15,5 %, 19,8 % et 32,7 % pour les naissances simples, doubles et triples, respectivement. Pour la même comparaison, Sormunen-Cristian et Suvela (1999) ont quant à eux obtenu des taux de mortalité à 150 jours de 11,8 %, 6,4 % et

13,5 %, respectivement. Shrestha et Heaney (1992) ont observé des taux de mortalité à 91 jours de 15 %, 16 %, 27 %, 32 % et 32 % pour les agneaux provenant de naissances simples, doubles, triples, quadruples et quintuples, respectivement. L'effet du type de naissance sur la mortalité des agneaux serait moindre chez les races prolifiques. Par exemple, chez la race Romanov, le taux de mortalité des agneaux à 30 jours demeure relativement stable d'un à quatre agneaux (environ 9 %), mais augmente abruptement à près de 16 % pour les portées de cinq agneaux (Theriez, 1991). L'interaction de la taille de la portée avec la race a aussi été observée par Gama *et al.* (1991). Par exemple, les données de leur étude montraient que le taux de mortalité des agneaux nés simples était supérieur pour les agneaux provenant de brebis Finnish Landrace (race prolifique) que pour ceux provenant de brebis de race Dorset (race non prolifique) alors que c'était le contraire pour les agneaux nés triples.

L'augmentation de la mortalité chez les portées triples peut être expliquée par le fait que les agneaux issus de portées multiples reçoivent moins de soins de la part de leur mère vu leur nombre, en plus de recevoir une quantité réduite de colostrum (Theriez, 1991). De fait, les agneaux nés triples prennent plus de temps avant de téter que les nés simples et doubles (Dwyer et Morgan, 2006). Cet effet a été observé en isolant l'effet du type de naissance de celui du poids à la naissance.

En comparant les corrélations phénotypiques entre le taux de survie des agneaux et le poids à la naissance (0,20) ou le type de naissance (-0,17), Welsh *et al.* (2003) en sont venus à la conclusion que ni le poids à la naissance ni le type de naissance n'expliquaient individuellement la totalité de la diminution de la survie des agneaux. En incluant le poids à la naissance dans le modèle, Fogarty *et al.* (1992) sont aussi arrivés au constat que l'effet du type de naissance était réduit, mais demeurait significatif. D'un autre côté, lorsqu'ajusté pour le poids à la naissance, le taux de mortalité au sevrage est semblable pour les agneaux nés simples, doubles ou triples (Gama *et al.*, 1991). Ceci a été observé chez les races Finnish Landrace, Dorset et Suffolk. Aussi, l'effet de la taille de portée sur la mortalité serait plus important chez les agneaux de faible poids que sur les agneaux de poids élevé (Theriez, 1991).

Il est difficile de distinguer les effets des nombres d'agneaux nés et élevés. En effet, les résultats précédemment cités confondent les deux effets. L'étude de Shrestha *et al.* (1992) nous permet de croire que le nombre d'agneaux élevés n'explique pas à lui seul les différences de taux de mortalité entre les agneaux de diverses tailles de portée. En effet, cette étude présente des taux de mortalité à 91 jours obtenus sur un bon nombre d'agneaux de différents types de naissance, mais tous allaités artificiellement. Les taux de mortalité étaient supérieurs pour les agneaux nés triples par rapport à ceux nés simples ou doubles (Tableau 2.4). Aussi, le taux de mortalité des agneaux nés quadruples était supérieur à celui des triples, puis les quintuples et plus avaient un taux supérieur à celui des quadruples. Évidemment, le poids à la naissance différent pour chaque type de naissance influençait lui aussi les taux de mortalité de cette étude.

Tableau 2.4. Taux de mortalité à 91 jours d'agneaux de différents types de naissance allaités artificiellement de la naissance à 21 jours d'âge

Type de naissance	n	Poids à la naissance (kg)	Taux de mortalité (%)
1	609	4,49	16 ^a
2	2 146	3,78	16 ^a
3	2 050	3,21	28 ^b
4	862	2,80	35 ^c
≥ 5	399	2,46	45 ^d

^{a,b,c,d} Pour une même colonne, les moyennes n'ayant pas la même lettre sont différentes à $P < 0,05$

Adapté de Shrestha *et al.* (1992)

La mortalité est parfois plus élevée pour les agneaux élevés artificiellement. Une compilation de données sur des agneaux nés sur trois ans à l'Institut de Recherche Animale d'Ottawa a montré que les agneaux élevés artificiellement avaient un taux de survie à 70 jours inférieur à celui des agneaux élevés sous la mère (75 vs 89 %, respectivement) (Peters et Heaney, 1974). Les taux de survie en allaitement artificiel peuvent être très élevés si les conditions sont optimales. Ainsi, Berger et Schlapper (1994) ont observé un taux de survie de la naissance au sevrage supérieur à 99 % sur un total de 420 agneaux lorsqu'ils étaient allaités artificiellement. De plus, dans une étude menée au Québec (Cameron, 2004), aucun

des 60 agneaux élevés artificiellement n'est mort avant le sevrage tandis que deux des 53 agneaux élevés sous la mère sont morts.

L'effet du poids à la naissance

Théoriquement, chez les mammifères, il existe un poids à la naissance optimal auquel les naissances sans complications sont maximisées. Autour de ce poids optimal existe un écart dans lequel le poids à la naissance s'écarte de son optimum, mais demeure adéquat (Gardner *et al.*, 2007). Ainsi, les agneaux de poids à la naissance élevé ou bas ont des taux de survie inférieurs à celui des poids moyens (Everett-Hincks et Dodds, 2008). Quelques auteurs présentent des courbes de taux de mortalité ou de survie en fonction du poids à la naissance des agneaux (Alexander, 1974; Notter et Copenhaver, 1980b; Fogarty *et al.*, 1992; Sawalha *et al.*, 2007). Aussi, Gama *et al.* (1991) ont présenté ensemble les courbes de mortalités totale, périnatale et postnatale. Ces courbes, présentées à la Figure 2.3, permettent de voir que les agneaux de faible poids sont vulnérables autant durant les 24 premières heures de vie que jusqu'au sevrage.

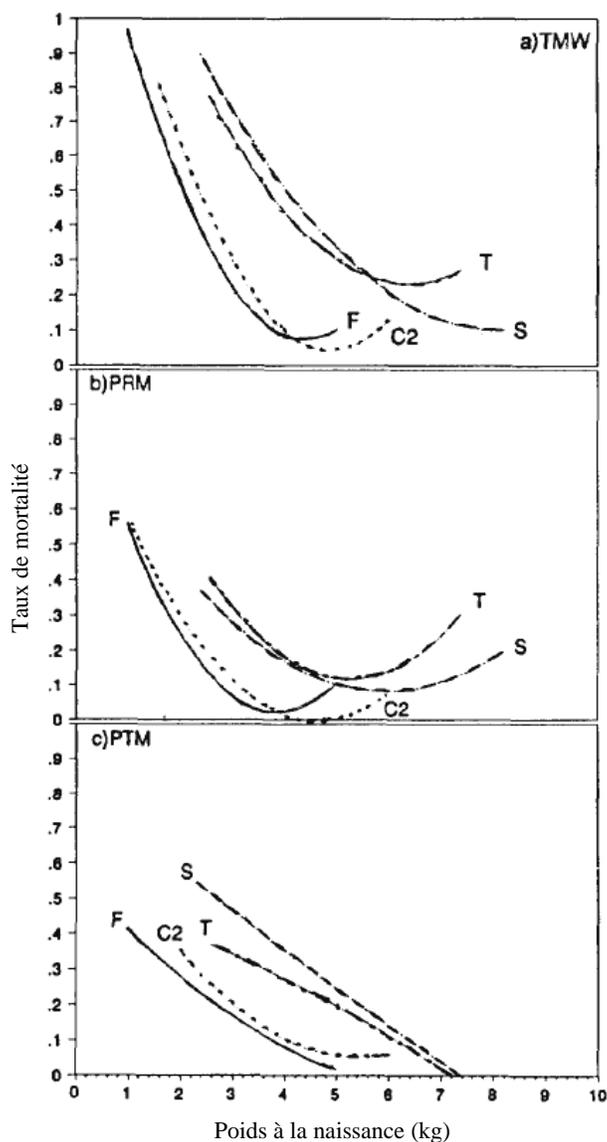


Figure 2.3. Régression de la mortalité de la naissance au sevrage (60 j) sur le poids à la naissance d'agneaux de mères Finnish Landrace (F), Targhee (T), Suffolk (S) et de race composite (C2) ajustée pour l'année, le sexe, l'âge de la mère et la taille de portée : a) mortalité totale (TMW) ; b) mortalité périnatale (PRM) ; c) mortalité postnatale (PTM).

(Gama *et al.*, 1991)

Plusieurs raisons peuvent expliquer les taux de mortalité plus élevés pour les agneaux de faible poids à la naissance. D'abord, les agneaux plus légers sont plus lents à téter que les agneaux plus lourds à la naissance (Dwyer et Morgan, 2006). Gama *et al.* (1991) ont aussi observé que les petits agneaux ayant survécu le premier jour après la naissance étaient incapables de se battre pour le lait maternel et étaient plus susceptibles de mourir d'inanition. Ceci représente un double désavantage puisque les plus petits agneaux ont également tendance à avoir de plus petites réserves d'énergie par unité de poids vif comparativement aux plus gros agneaux (Alexander, 1974). De plus, les petits agneaux ont un ratio surface sur poids plus grand que les gros agneaux. Ainsi, les petits agneaux doivent dépenser plus d'énergie par unité de poids que les gros agneaux, autant pour dissiper la chaleur en conditions chaudes que pour produire de la chaleur en conditions froides (Alexander, 1974). À tout cela, il faut ajouter que le thymus des petits agneaux est particulièrement petit, ce qui entraînerait une réponse immunitaire déficiente (Alexander, 1974).

L'effet du sexe

Certains auteurs ont noté une différence entre les taux de mortalité des agneaux mâles et des femelles. Habituellement, lorsqu'une différence est observée, les mâles ont un taux de mortalité plus élevé que celui des femelles (Southey *et al.*, 2003, 2004; Sawalha *et al.*, 2007). Seuls Nawaz et Meyer (1992) ont noté des taux de mortalité inférieurs pour les mâles par rapport aux femelles. Aussi, quelques auteurs n'ont pas observé de différence significative (Notter et Copenhaver, 1980b; Vesely et Peters, 1981; Shrestha et Heaney, 1992). Il est donc difficile de conclure en une différence de taux de mortalité pour le sexe des agneaux.

2.2.2.3. Croissance des agneaux

L'effet du nombre d'agneaux allaités sur leur croissance

L'influence du poids à la naissance sur le taux de croissance combinée à la plus faible quantité de lait disponible par agneau dans les portées nombreuses se répercute sur le taux de croissance des agneaux. D'abord, Lindahl *et al.* (1972) ont observé une régression

positive (analyse de la covariance) de 19,8 g/j de GMQ (0 à 102 jours) par kilogramme de poids à la naissance. Dans le même sens, Theriez (1991) a noté que lors des six premières semaines d'allaitement, le GMQ augmente de 24 g pour chaque augmentation d'un kilogramme de poids à la naissance. Finalement, Morgan *et al.* (2007) ont observé que pour une augmentation d'un kilogramme de poids à la naissance, le taux de croissance de la naissance au sevrage (12 semaines) était augmenté de 7,2 g/j.

Les types de naissance et d'allaitement (nombre d'agneaux allaités par une même brebis) expliquent la majorité de la variation dans la vitesse de croissance des agneaux (Morgan *et al.*, 2007). Les agneaux nés et élevés doubles ont une croissance de la naissance au sevrage (12 semaines) plus lente que les nés doubles élevés simples (Morgan *et al.*, 2007). Dans la même étude, les agneaux élevés simples, peu importe leur type de naissance, avaient un taux de croissance semblable. Cependant, pour Shrestha et Heaney (1992), le poids des agneaux nés doubles et élevés doubles n'a pas été différent des agneaux nés doubles et élevés simples, autant à 56 qu'à 91 jours d'âge. À 56 jours, le poids des agneaux nés doubles représentait environ 90 % du poids des agneaux nés simples. Selon Theriez (1991), ce n'est que dans le cas de l'allaitement triple que le potentiel laitier devient un facteur limitant des performances de la portée.

L'étude de Gallo et Davies (1991) a montré que, malgré une consommation plus grande par les triplets de concentrés distribués à la dérobée (à partir du 14^e jour), leur GMQ plus faible et leur poids plus faible à 35 jours par rapport à ceux élevés doubles montrent que l'absorption de plus de concentrés n'est pas suffisante pour compenser la plus faible disponibilité de lait par agneau. Le GMQ des agneaux nés et élevés triples est demeuré plus faible que celui de ceux nés et élevés doubles, et ce, de 35 jours à l'atteinte du poids d'abattage (35 à 38 kg). Cette même tendance se retrouve dans l'étude québécoise de Roy *et al.* (1999) réalisée avec des brebis Arcott Outaouais. Cette étude a montré un poids au sevrage (42 jours) de 8,5 kg pour les agneaux de portées élevées triples et de 12,0 kg pour ceux de portées élevées doubles. Aussi, dans une étude de Sormunen-Cristian et Jauhiainen (2001), les triplets ont eu un GMQ inférieur de 70 g/j à celui des jumeaux sur une période allant de la naissance à 42 jours. Une revue faite par Gallo et Davies (1988) présente des

études comparant les taux de croissance des agneaux de portées triples à ceux de portées doubles. Ces études montrent une tendance selon laquelle les agneaux nés triples auraient un GMQ en bas âge équivalant environ 80 % celui des agneaux nés doubles (Tableau 2.5). Cette même proportion serait d'environ 90 %, lorsque calculée sur la croissance globale des agneaux (Tableau 2.5).

Tableau 2.5. Performances de croissance des triplets en bas âge et sur la période de croissance globale

Source	Taux de croissance des triplets (g/j)		Taux de croissance des triplets en proportion de celui des jumeaux (%)	
	Bas âge	Globale	Bas âge	Globale
Nikolaev et Magomedov, 1976		184 (180) ^z		0,88
Kovnerev, 1974	201 (21)	183 (100)	0,82	0,90
Peart <i>et al.</i> , 1972	194 (28)	211 (84)	0,80	0,89
Peart <i>et al.</i> , 1975	204 (28)	252 (84)	0,74	0,84
Gallo et Davies, 1988	290 (35)	293 (100)	0,80	0,91
Loerch <i>et al.</i> , 1985	185 (42)		0,88	
Loerch <i>et al.</i> , 1985	199 (42)		0,83	

^z Les nombres entre parenthèses représentent l'âge (j) à la pesée à partir de laquelle a été calculé le taux de croissance.

Adapté de Gallo et Davies (1988)

Puisque la différence de GMQ s'amenuise avec le temps, nous pouvons conclure qu'un gain compensatoire survient après le sevrage, mais que celui-ci ne serait pas suffisant pour combler l'écart de poids vif obtenu en bas âge. Ces résultats sont conséquents avec ceux obtenus par Notter et Copenhaver (1980b) et par Shafto *et al.* (1996).

Puisque la croissance des agneaux en bas âge découle directement de la quantité de lait consommée, il est pertinent de s'intéresser à la relation entre la production laitière des brebis et la taille de portée.

L'effet du nombre de fœtus sur la production laitière

Il semble y avoir une relation positive entre le nombre de fœtus porté par la brebis et le développement de la glande mammaire durant la gestation (Pollott et Gootwine, 2004). Cet effet serait probablement relié à la production fœtoplacentaire de l'hormone placentaire lactogène (Schoknecht *et al.*, 1991). Cette hormone, sécrétée par l'endomètre, agit entre autres sur la mammogénèse. D'autres chercheurs ont émis l'hypothèse que le nombre de fœtus porté par la brebis pourrait affecter le développement mammaire ainsi que la production laitière par le biais d'une surproduction d'oestrogènes produits par le placenta qui agiraient sur le développement mammaire (Orr et Treacher, 1994). Une expérience où les agneaux n'étaient pas élevés avec leurs mères après la naissance a montré une plus grande quantité de lait produite par les brebis ayant porté deux et trois agneaux par rapport aux brebis n'ayant porté qu'un seul agneau (Pollott et Gootwine, 2004). L'augmentation était d'environ 6 %. Il est difficile de conclure avec si peu d'expériences que la production laitière des brebis serait plus élevée pour celles ayant porté des triplets par rapport à celles ayant porté des jumeaux. De plus, l'étude de Rhind *et al.* (1992), cités par Orr et Treacher (1994), a montré qu'il n'y aurait pas d'effet significatif du nombre d'agneaux nés sur la production laitière de brebis allaitant ensuite des jumeaux.

L'effet du nombre d'agneaux allaités sur la production laitière

Les résultats sur la production laitière en fonction du nombre d'agneaux allaités (un, deux ou trois) sont variés. D'abord, l'étude de Sormunen-Cristian *et al.* (1997) a montré une augmentation de la production laitière des brebis de 37,5 % lorsque le nombre d'agneaux allaités passait d'un à deux. Les résultats des travaux d'Alexandre *et al.* (2001) vont aussi dans le même sens (augmentation de 26,4 %).

Treacher (1985) a répertorié dans la littérature des augmentations (pas toujours significatives) de production laitière variant de 5 à 20 % pour les brebis allaitant des triplets par rapport à celles élevant des jumeaux. Aussi, Gallo et Davies (1988) ont effectué des comparaisons entre des brebis allaitant deux ou trois agneaux qui ont montré une faible augmentation de la production laitière à 20 jours de lactation (4,1 vs 4,3 kg/jour) et au jour 30 (3,7 vs 4,1 kg/jour). Cependant, seules les valeurs à 30 jours présentaient une différence

significative. Une étude subséquente des mêmes auteurs a montré une plus grande production laitière au jour 10 pour les brebis allaitant des triplets vs des jumeaux, mais pas de différence aux jours 20 et 30 (Gallo et Davies, 1991). Dans le même sens, Petit (1997) a montré, dans une expérience menée au Québec, que les brebis allaitant des triplets n'ont pas toujours une production laitière plus élevée. Lors d'une autre étude, une différence beaucoup plus marquée a été observée (Ricordeau *et al.*, 1990). Dans cette recherche française, la production laitière journalière moyenne du premier mois de lactation de brebis Romanov allaitant des jumeaux était de 1,7 à 1,8 kg tandis que celle des brebis allaitant des triplets variait de 2,3 à 2,5 kg, ce qui représente une augmentation de l'ordre de 32 %. Cependant, les travaux de Alexandre *et al.* (2001) et de Pollott et Gootwine (2004) n'ont pas montré d'augmentation de la production laitière pour les brebis allaitant trois agneaux versus deux. Un résultat contradictoire a été obtenu au Québec lors de l'expérience de Roy *et al.* (1999) où la production laitière des brebis allaitant des triplets était de 7 % inférieure à celle des brebis allaitant des jumeaux.

Il semble donc que, généralement, la production laitière des brebis soit plus élevée pour celles allaitant deux agneaux que pour celles en allaitant un seul, mais que cette différence soit négligeable entre les brebis allaitant deux et trois agneaux. Il est à noter que malgré la possibilité que la production laitière puisse être plus élevée pour les brebis allaitant des triplets, globalement, la quantité de lait disponible par agneau demeure moins élevée pour les agneaux de portées triples (Peart *et al.*, 1975).

En allaitement artificiel

En gestion d'élevage traditionnel, un maximum de deux agneaux est laissé avec les mères en lactation. Pour celles donnant naissance à trois agneaux et plus, l'allaitement artificiel avec lactoreplaceur est la technique la plus utilisée comme solution pour l'élevage des agneaux surnuméraires⁶. Généralement, la technique consiste à séparer les agneaux excédentaires de leur mère environ 24 h après la naissance et à les alimenter avec un lait reconstitué.

⁶ Surnuméraire : terme utilisé pour décrire le ou les agneaux qui sont excédants aux deux normalement laissés avec la mère lors de la période de lactation.

Plusieurs auteurs ont observé des performances de croissance en présevrage semblables pour les agneaux allaités artificiellement et ceux laissés avec leur mère (Louca, 1972; Peters et Heaney, 1974; Gorrill *et al.*, 1990; Knight *et al.*, 1993; Gargouri *et al.*, 1993a; Gargouri *et al.*, 1993b; McKusick *et al.*, 1999; Cameron et Vachon, 2004). Malgré l'absence de différence significative entre les GMQ, Peters et Heaney (1974) ont noté une différence entre le poids à 35 jours des agneaux allaités artificiellement et ceux allaités sous la mère (9,7 vs 11,7 kg, respectivement). Les poids à la naissance moyens de ces deux groupes étaient respectivement de 4,1 et 4,2 kg.

Comme mentionné dans la section précédente, lorsque les agneaux sont élevés sous la mère, les agneaux élevés simples ont habituellement de meilleures performances de croissance que les doubles, de même que les doubles ont de meilleures performances que les triples. Ceci est probablement dû à la compétition pour le lait maternel (Heaney *et al.*, 1982a). Les auteurs n'auraient probablement pas observé ces différences en allaitement artificiel en raison de l'absence de compétition pour le lait. Dans une autre étude, les mêmes auteurs n'ont pas noté de différence entre les GMQ présevrage et les poids au sevrage (21 jours) des agneaux allaités artificiellement qu'ils soient nés simples, doubles, triples ou quadruples et plus (Heaney *et al.*, 1982c). Lors d'une expérience subséquente de Heaney et Shrestha (1987), les GMQ présevrage n'étaient pas différents selon les types de naissances, malgré un poids au sevrage plus élevé pour les agneaux nés simples. Dans la seconde expérience présentée dans l'article de Heaney et Shrestha (1987), les agneaux nés triples ont obtenu un GMQ présevrage en allaitement artificiel plus faible que ceux obtenus par les agneaux nés simples ou doubles. Les poids au sevrage diminuaient avec l'augmentation de la taille de portée. Une autre étude de Heaney *et al.* (1982b) va dans le même sens et rapporte un GMQ présevrage plus faible pour les agneaux nés quadruples que pour les nés doubles ou triples lors de la première expérience et plus faible que les doubles lors de la deuxième étude. Une autre étude a montré une baisse graduelle du poids au sevrage avec l'augmentation de la taille de portée d'un à cinq agneaux (Shrestha *et al.*, 1992). Il semble donc qu'en allaitement artificiel, les agneaux issus de grandes portées aient une croissance ralentie par rapport à ceux de portées moins nombreuses, mais que cette différence soit moins marquée qu'en allaitement naturel.

Le sexe de l'agneau placé à l'allaitement artificiel peut influencer sa croissance. Ainsi, les agneaux mâles ont eu un GMQ présevrage plus élevé que les femelles dans l'étude de Heaney *et al.* (1982a). Dans celles de Shrestha *et al.* (1992) et de Sormunen-Cristian et Suvela (1999), les poids au sevrage des agneaux mâles ont été plus élevés. D'un autre côté, aucune différence significative n'a été notée entre les mâles et les femelles lors des études de Heaney *et al.* (1982b) et de Heaney *et al.* (1982c), autant pour le poids au sevrage que pour le GMQ de la naissance au sevrage. Cependant, le GMQ présevrage était toujours numériquement plus élevé pour les mâles. L'augmentation variait approximativement entre 3 à 11 % dans ces cinq études. La croissance de la naissance au sevrage semble donc plus élevée pour les mâles que pour les femelles lorsque les agneaux sont en allaitement artificiel.

Une fois les agneaux sevrés de l'allaitement artificiel, il ne semble pas y avoir de différence de croissance entre les agneaux des différents types de naissance (Lindahl *et al.*, 1972; Heaney *et al.*, 1984).

2.2.2.4. *L'alimentation des agneaux*

Les coûts totaux d'alimentation des agneaux augmentent évidemment avec une augmentation de la prolificité, principalement en conséquence de l'augmentation du nombre d'agneaux élevés. De plus, comme les agneaux issus de portées plus nombreuses ont généralement une croissance plus lente, la durée nécessaire à l'atteinte du poids d'abattage est allongée. Ces jours supplémentaires de croissance font aussi augmenter les coûts d'alimentation.

Un plus grand nombre d'agneaux placés à l'allaitement artificiel augmente aussi les coûts d'alimentation. Une étude de Cameron (2004) réalisée au Québec démontre qu'il faut environ 1,16 kg de poudre de lait par kilogramme de gain de poids pour alimenter un agneau sous allaitement artificiel (sevrage à 48 jours), ce qui est similaire à la valeur d'un kilogramme rapportée par Gorrill *et al.* (1990). Ainsi, jusqu'au sevrage, vers 28 jours d'âge, on peut calculer qu'un agneau consommera entre neuf et dix kilogrammes de poudre de

lait. Berger et al. (2004) rapportent que les essais qu'ils ont menés sur environ 2 200 agneaux montrent qu'il faut, en moyenne, 8,2 kg de poudre de lait pour rendre les agneaux au sevrage à 30 jours. Il faut savoir qu'après 28 jours, l'agneau consomme de plus en plus de lait et donc, le coût de production de cet agneau grimpe en flèche.

2.2.2.5. *Classification des carcasses*

Les études concernant les liens possibles entre le type de naissance et la qualité de la carcasse sont plutôt divergentes. D'abord, l'effet direct du type de naissance est très peu documenté. Une étude conclut que les types de naissance et d'allaitement ont seulement des effets limités sur le taux de gras des agneaux à poids vif constant (Amer *et al.*, 1999). Dans le même sens, Makarechian *et al.* (1978) ont statué que le type d'élevage n'influence pas le contenu en gras ou en maigre de la carcasse, malgré la différence de croissance présevrage entre les simples et les doubles. Les agneaux issus de portées de plus grandes tailles étant plus légers à la naissance, il est approprié de s'interroger sur l'effet du poids à la naissance sur la qualité de la carcasse. Une corrélation positive (0,30) a été observée entre le poids à la naissance et le pourcentage de maigre (Makarechian *et al.*, 1978). Celles avec le pourcentage d'os et avec le pourcentage de gras étaient respectivement de 0,34 et -0,37. Aussi, dans une étude chez le porc en croissance, ceux ayant un faible poids à la naissance ont montré une carcasse plus grasse que ceux avec un poids à la naissance plus élevé (Bee, 2007). Toutefois, toujours chez le porc, Bérard *et al.* (2008) n'ont pas observé de différence de déposition du gras entre des groupes de porcs ayant des poids faibles ou élevés à la naissance. Selon Theriez (1991), la production de carcasses à l'état d'engraissement homogène exige de réduire le poids à l'abattage des agneaux issus de portées multiples. Cette affirmation est appuyée sur des résultats non publiés de Brelurut et Theriez selon lesquels le poids des carcasses d'agneaux abattus à état d'engraissement constant varie avec le poids à la naissance (600 g de carcasse de plus pour chaque kilogramme de poids à la naissance additionnel).

2.2.2.6. *L'alimentation des brebis*

L'effet du nombre de fœtus sur la consommation de la brebis

Il est généralement accepté que la croissance de l'utérus et de son contenu durant les dernières semaines de gestation réduit le volume de la cavité abdominale, ce qui cause une diminution de la CVMS en fourrages (NRC, 1985; Sormunen-Cristian et Jauhiainen, 2001). Toutefois, les études sont nuancées quant à l'effet de la taille de la portée sur la consommation volontaire des brebis en fin de gestation. Orr et Treacher (1989) ont montré que la CVMS de matière sèche durant les six dernières semaines de gestation est de 86 et 81 % pour les brebis portant des jumeaux et des triplets, respectivement, par rapport à celles portant des simples. Par contre, les études précédentes de Foot et Russel (1979) et de Newton et Orr (1981) avaient pourtant montré que le nombre de foetus n'avait pas d'influence significative sur la prise alimentaire de la brebis.

L'effet du nombre d'agneaux allaités sur la consommation de la brebis

Les auteurs ne sont pas unanimes quant à la relation entre la CVMS et le nombre d'agneaux allaités. D'abord, les études de Newton et Orr (1981), Bocquier *et al.* (1987), de Gallo et Davies (1988) et de Sormunen-Cristian et Jauhiainen (2001) n'ont pas montré de différence quant à la CVMS entre des brebis allaitant des jumeaux et des triplets. D'un autre côté, Sormunen-Cristian *et al.* (1997) ont observé que la CVMS des brebis allaitant un agneau a été la plus basse et que celle des brebis allaitant trois agneaux a été la plus élevée. Dans le même sens, les résultats de Roy *et al.* (1999) ont montré une consommation plus élevée de 0,14 kg/j MS d'ensilage pour les brebis allaitant des triplets comparativement aux brebis allaitant des doubles. Malgré cette consommation accrue pour les brebis allaitant les triplets, ces dernières ont subi une perte de poids de 2,8 kg durant la lactation tandis que les brebis allaitant les doubles ont gagné en moyenne 0,3 kg. Ceci confirme que les besoins sont plus élevés pour les brebis allaitant trois agneaux que pour celles en allaitant seulement deux. Le passage de deux à trois agneaux allaités pourrait donc légèrement augmenter la CVMS des brebis.

2.2.2.7. *Temps de travail*

Puisqu'une des grandes contraintes de la production ovine est la grande demande en temps au moment des agnelages (Parker et Pope, 1983), il est attendu qu'une augmentation de la prolificité mène à une plus grande demande en main d'oeuvre. Les rares données concernant le temps de travail en production ovine qui ont été relevées dans la littérature concernent généralement des systèmes de production très différents des nôtres. De fait, le temps requis pour une brebis en système pastoral est très différent de celui pour un élevage intensif en bergerie. L'enquête réalisée lors de l'étude québécoise sur le coût de production de l'agneau (CECPA, 2007) a révélé que le nombre moyen d'heures travaillées par brebis par année s'élevait à 8,8, lorsque seules les heures relatives à l'atelier troupeau étaient considérées. Ce chiffre augmente donc lorsqu'on tient compte, par exemple, des heures relatives aux cultures. Une analyse des données recueillies lors de l'enquête n'a pas permis de relier le temps de travail à la productivité ou à la prolificité (Centre d'études sur les coûts de production en agriculture, 2008, communication personnelle).

Certaines informations sont disponibles en ce qui concerne l'allaitement artificiel des agneaux surnuméraires. Ainsi, Cameron (2004) a établi lors d'une étude sur l'allaitement artificiel des agneaux au Québec qu'une heure par agneau était nécessaire pour la période allant de la naissance à 44 jours. Aussi, des auteurs au Wisconsin ont évalué que les trois premiers jours d'allaitement artificiel exigeaient dix minutes par jour pour chaque agneau et que pour les 25 autres jours, seulement deux minutes par jour étaient nécessaires par agneau, portant le total à 80 minutes (Berger et Schlapper, 1994).

2.2.2.8. *Densité d'élevage*

Lorsque la prolificité est augmentée, il faut prévoir plus d'espace en bergerie pour les brebis en lactation (augmentation du nombre de brebis allaitant des doubles), pour l'allaitement artificiel et pour loger le plus grand nombre d'agneaux à l'engraissement.

Pour des agneaux à l'engraissement (20 à 50 kg), faire passer la surface par agneau de 0,99 à 0,62 m² occasionne une baisse de 11 % de la consommation et de 14 % du GMQ (Horton

et al., 1991). Lors de l'étude de Gonyou *et al.* (1985), la baisse de gain a été de 10 % en faisant passer la surface par agneau de 0,48 à 0,32 m². Avec des résultats de cet ordre, il appert que la densité d'élevage a une incidence sur les performances de croissance des agneaux.

En lactation, les portées simples sont moins affectées par une réduction d'espace de 1,11 à 0,93 m² par brebis que les portées doubles (Arehart *et al.*, 1972). Chez les portées doubles à 0,93 m², il y a eu une plus grande incidence de mortalités des agneaux et des brebis. De tels résultats suggèrent que les portées multiples devraient être placées dans des parquets à moindre densité que les portées simples et doubles.

Quelques sources présentent des recommandations sur les superficies par animal selon les stades de production (Tableau 2.6). Ainsi, il est nécessaire de prévoir un espace pour l'allaitement artificiel, soit environ cinq agneaux par m². En lactation, pour des brebis avec un seul agneau, 1,5 m² serait suffisant et il faudrait augmenter de 0,5 m² pour chaque agneau supplémentaire élevé avec la mère.

Tableau 2.6. Superficies recommandées pour les ovins de différents stades de production

Stade de production	Superficie recommandée (m ² /animal)						
	CRAC 1995 ^z	Hirning <i>et al.</i> 1994 ^y	Houdoy 1995 ^x	Bélangier et Potvin 2000 ^w	Blanchin 2005 (petite race) ^v	Blanchin 2005 (grande race) ^v	Alliance Pastorale 2007 ^u
Agneau allaitement artificiel	-	-	-	-	0,20	0,20	0,20
Agneau < 2 mois	-	-	-	-	-	-	0,25
Agneau 2 à 5 mois	0,60	0,80	0,50	0,75	0,50	0,50	0,50
Agnelle de remplacement	-	-	0,70	1,12	-	-	0,70
Brebis en fin de gestation	1,40	-	1,20	-	1,20	1,50	-
Brebis en lactation ^t	1,50 (ND)	1,63 (<1,7) 2,10 (>1,7)	1,25 (1) 1,50 (2)	1,86 (ND)	1,5 (1) 2,0 (2)	1,5 (1) 2,0 (2)	1,50 (ND)
Brebis (autres stades) ^s	0,93	1,30	1,00	1,40	1,00	1,20	1,20
Bélier	1,00	2,32	2,00	2,23	-	-	1,50 à 2,00

^z Conseil de recherches agro-alimentaires du Canada (1995)

^y Sheep housing and equipment handbook, Hirning *et al.* (1994)

^x Houdoy (1995)

^w Bélangier et Potvin (2000)

^v Blanchin (2005)

^u Alliance Pastorale (2007)

^t Le nombre d'agneaux allaités est entre parenthèses

^s Brebis à l'entretien, à la saillie et en gestation

2.3. CONCLUSION

Plusieurs facteurs peuvent influencer la rentabilité d'une entreprise ovine. Selon plusieurs études, la prolificité a un effet déterminant. Cependant, il est difficile d'établir dans quelles mesures une augmentation de la prolificité permet au producteur d'améliorer réellement la rentabilité de son entreprise puisque cette augmentation du nombre d'agneaux nés a aussi des répercussions négatives sur plusieurs autres paramètres de production qui influencent la marge de profit comme le taux de croissance et la mortalité des agneaux, le coût des intrants (ex. aliments, poudre de lait...), les besoins en main-d'œuvre, etc. La simulation informatique s'avère donc un excellent outil pour comparer les résultats économiques de troupeaux présentant différents niveaux de prolificité. En effet, la simulation permet de faire ces comparaisons en évitant les frais et délais exorbitants qui seraient nécessaires pour réaliser une expérimentation capable de répondre à ce type de question. De plus, la simulation offre beaucoup de souplesse en permettant de valider les résultats selon différentes situations (contextes de prix, système de production...).

Au Québec, malgré le fait que la recommandation d'utiliser des femelles plus prolifiques remonte aux années 1960 (Munro, 1961), il faut avouer que l'implantation tarde à se faire. Une des principales raisons est qu'aucune étude n'a encore pu vraiment démontrer la rentabilité économique de ce type de brebis. Ainsi, compte tenu des changements économiques qui surviennent présentement ou qui pointent à l'horizon pour l'industrie ovine québécoise (coût des intrants, changements dans les programmes d'assurance stabilisation des revenus...), le recours à la brebis prolifique dans les élevages commerciaux est, plus que jamais, un élément clé pour la survie de plusieurs producteurs et de l'industrie tout entière. Cependant, avant de continuer à promouvoir l'utilisation de femelles plus prolifiques, il est impératif de démontrer précisément dans quelles mesures et sous quelles conditions elle pourra améliorer la rentabilité des élevages ovins.

2.4. OBJECTIFS DE RECHERCHE

L'objectif général de cette recherche est de comparer, par simulations informatiques, la rentabilité de troupeaux ovins présentant différents niveaux de prolificité. De manière plus spécifique, le projet consiste à :

- 1) Bâtir un outil de simulation permettant de calculer l'impact d'un changement de prolificité sur les performances techniques et économiques de l'entreprise ovine, dans le contexte de production québécois (système de production accéléré);
- 2) Comparer les résultats techniques et économiques de troupeaux simulés avec des taux de prolificité de 1,5, 1,8, 2,1 et 2,4 agneaux nés par agnelage, tout en tenant compte de l'influence de la prolificité sur les autres paramètres zootechniques;
- 3) Valider les résultats obtenus selon différents contextes de production (rythme d'agnelage, fertilité moyenne, taux de mortalité des agneaux, taux de croissance des agneaux, prix des agneaux et des aliments).

2.5. REFERENCES

- Agabriel, J. et Ingrand, S. 2004.** Modelling the performance of the beef cow to build a herd functioning simulator. *Anim. Res.* **53**: 347-361.
- Alexander, G. 1974.** Birth weight of lambs: influences and consequences. Pages 215-239 dans "Size at birth" Ciba Foundation Symposium 27 (new series), Amsterdam.
- Alexandre, G., Archimède, H., Chevaux, É., Aumont, G. et Xandé, A. 2001.** Feeding supply of suckling Martinik ewes reared in intensive conditions: effects of supplement levels and litter size. *Anim. Res.* **50**: 213-221.
- Alliance Pastorale. 2007.** Normes pour bâtiments d'élevage pour ovin. [En ligne] Disponible: http://www.alliancepastorale.fr/IMG/pdf/Conseils_2007_Ovin.pdf. [9 octobre 2008].
- Almahdy, H., Tess, M. W., El-Tawil, E., Shehata, E. et Mansour, H. 2000a.** Evaluation of Egyptian sheep production systems: I. Breed crosses and management systems. *J. Anim. Sci.* **78**: 283-287.
- Almahdy, H., Tess, M. W., El-Tawil, E., Shehata, E. et Mansour, H. 2000b.** Evaluation of Egyptian sheep production systems: II. Breeding objectives for purebred and composite breeds. *J. Anim. Sci.* **78**: 288-295.

- Amer, P. R., McEwan, J. C., Dodds, K. G. et Davis, G. H. 1999.** Economic values for ewe prolificacy and lamb survival in New Zealand sheep. *Livest. Prod. Sci.* **58**: 75-90.
- Arehart, L. A., Lewis, J. M., Hinds, F. C. et Mansfield, M. E. 1972.** Space allowance for lactating ewes confined to slotted floors when penned with single or twin lambs. *J. Anim. Sci.* **34**: 180-182.
- Austin, E. J., Willock, J., Deary, I. J., Gibson, G. J., Dent, J. B., Edwards-Jones, G., Morgan, O., Grieve, R. et Sutherland, A. 1998.** Empirical models of farmer behaviour using psychological, social and economic variables. Part I: Linear modelling. *Agric. Syst.* **58**: 203-224.
- Bee, G. 2007.** Birth weight of litters as a source of variation in postnatal growth, and carcass and meat quality. *Adv. Pork Prod.* **18**: 191-196.
- Bélangier, M.-A. et Potvin, R. 2000.** Planification et construction d'une installation d'élevage. Pages Feuillet 8.20 *dans* Guide production ovine. CRAAQ (éd.). Québec.
- Benoit, M. 1998.** Un outil de simulation du fonctionnement du troupeau ovin allaitant et de ses résultats économiques : une aide pour l'adaptation à des contextes nouveaux. *INRA Prod. Anim.* **11**: 199-209.
- Benoit, M., Laignel, G. et Lienard, G. 1999.** Facteurs techniques, cohérence de fonctionnement et rentabilité en élevage ovin allaitant. Exemples du Massif Central Nord et du Montmorillonnais. *Rencontres Autour des Recherches sur les Ruminants* **6**: 19-22.
- Bérard, J., Kreuzer, M. et Bee, G. 2008.** Effect of litter size and birth weight on growth, carcass and pork quality, and their relationship to postmortem proteolysis. *J. Anim. Sci.* **86**: 2357-2368.
- Berger, Y. M., Billon, P., Bocquier, F., Caja, G., Cannas, A., McKusick, B. C., Marnet, P.-G. et Thomas, D. L. 2004.** Principles of sheep dairying in North America. Cooperative Extension Publishing, Madison, WI, 152 pp.
- Berger, Y. M. et Schlapper, R. A. 1994.** Raising lambs on milk replacer. *The Shepherd*, **39**: 20-24.
- Berger, Y. M. et Schlapper, R. A. 1998.** Raising lambs on milk replacer. Pages 6-14 *dans* Proceedings of the 46th annual spooner sheep day, Madison, WI.
- Berger, Y. M. et Thomas, D. L. 2008.** Sheep production economics in 2008. *Sheep Canada Magazine* **23**: 23-28.
- Blackburn, H. D. et Cartwright, T. C. 1987.** Description and validation of the Texas A&M sheep simulation model. *J. Anim. Sci.* **65**: 373-386.

- Blanchin, J. Y. 2005.** Permettre de gagner en efficacité. Pâtre, **Mai 2005**: 26-27.
- Bocquier, F., Thériez, M. et Brelurut, A. 1987.** The voluntary hay intake by ewes during the first weeks of lactation. *Anim. Prod.* **44**: 387-394.
- Bonnes, G., Desclaude, J., Drogoul, C., Gadoud, R., Jussiau, R., Le Loc'h, A., Montméas, L. et Robin, G. 1991.** Reproduction des mammifères d'élevage : Enseignement agricole, formation professionnelle, Paris, 240 pp.
- Bowman, P. J., Wysel, D. A., Fowler, D. G. et White, D. H. 1989.** Evaluation of a new technology when applied to sheep production systems: Part I - Model description. *Agric. Syst.* **29**: 35-47.
- Bywater, A. C. et Cacho, O. J. 1994.** Use of simulation models in research. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* **54**: 403-412.
- Cacho, O. J., Finlayson, J. D. et Bywater, A. C. 1995.** A simulation model of grazing sheep: II. Whole farm model. *Agric. Syst.* **48**: 27-50.
- Cameron, J. 2004.** De bons résultats avec l'allaitement artificiel ? Possible ? Ovin Québec, **4**: 14-17.
- Cameron, J. et Vachon, M. 2004.** Utilisation de l'allaitement artificiel en production ovine: résultats comparatifs, utilisation optimale, problématiques et conseils. Pages 4-9 *dans* Compte-rendu des Journées OVIPRO, Québec.
- Castonguay, F., Dufour, J. J., Minvielle, F. et Estrada, R. 1990.** Follicular dynamics and dominance in Booroola x Finnish Landrace and Booroola x Suffolk ewes heterozygous for the F gene. *J. Reprod. Fertil.* **89**: 193-203.
- CECPA. 2007.** Étude sur le coût de production des agneaux en 2006 au Québec, Lévis, Qc, 83 pp.
- CEPOQ. 2009.** Programme d'évaluation génétique à domicile GenOvis. La Pocatière, QC, Canada.
- Conington, J., Bishop, S. C., Waterhouse, A. et Simm, G. 2004.** A bioeconomic approach to derive economic values for pasture-based sheep genetic improvement programs. *J. Anim. Sci.* **82**: 1290-1304.
- Cournut, S. et Dedieu, B. 2004.** A discrete events simulation of flock dynamics: a management application to three lambings in two years. *Anim. Res.* **53**: 383-403.
- CRAC. 1995.** Code de pratiques recommandées pour le soin et la manipulation des moutons. Conseil de recherches agro-alimentaires du Canada, Ottawa, Ontario, 41 pp.

- Davis, G. H., McEwan, J. C., Fennessy, P. F., Dodds, K. G. et Farquhar, P. A. 1991.** Evidence for the presence of a major gene influencing ovulation rate on the X chromosome of sheep. *Biol. Reprod.* **44**: 620-624.
- Davis, K. C., Tess, M. W., Kress, D. D., Doornbos, D. E. et Anderson, D. C. 1994a.** Life cycle evaluation of five biological types of beef cattle in a cow-calf range production system: I. Model development. *J. Anim. Sci.* **72**: 2585-2590.
- Davis, K. C., Tess, M. W., Kress, D. D., Doornbos, D. E. et Anderson, D. C. 1994b.** Life cycle evaluation of five biological types of beef cattle in a cow-calf range production system: II. Biological and economic performance. *J. Anim. Sci.* **72**: 2591-2598.
- Demirören, E., Shrestha, J. N. B. et Boylan, W. J. 1995.** Breed and environmental effects on components of ewe productivity in terms of multiple births, artificial rearing and 8-month breeding cycles. *Small Ruminant Res.* **16**: 239-249.
- Derycke, G., Paquay, R. et Bister, J. L. 1990.** Reproductive capacity in rams : effect of season and breed. Pages 244-245 *dans* 41st Ann. Meet. Eur. Ass. Anim. Prod., 9-12 July, Toulouse.
- Dickerson, G. E. 1996.** Economic importance of prolificacy in sheep. Pages 205-213 *dans* Prolific sheep. M. H. Fahmy (éd.). CAB International, Wallingford, UK.
- Dickerson, G. E. et Glimp, H. A. 1975.** Breed and Age Effects on Lamb Production of Ewes. *J. Anim. Sci.* **40**: 397-408.
- Dwyer, C. M., Calvert, S. K., Farish, M., Donbavand, J. et Pickup, H. E. 2005.** Breed, litter and parity effects on placental weight and placentome number, and consequences for the neonatal behaviour of the lamb. *Theriogenology* **63**: 1092-1110.
- Dwyer, C. M. et Morgan, C. A. 2006.** Maintenance of body temperature in the neonatal lamb: Effects of breed, birth weight, and litter size. *J. Anim. Sci.* **84**: 1093-1101.
- Dzakuma, J. M. et Harris, D. L. 1989.** Computer Modeling of Sheep Reproduction: I. An Algorithm for Quantifying Anestrous Cycles in Ewes. *J. Anim. Sci.* **67**: 2197-2211.
- Eisen, E. J. 1977.** Restricted selection index: an approach to selecting for feed efficiency. *J. Anim. Sci.* **44**: 958-972.
- Everett-Hincks, J. M. et Dodds, K. G. 2008.** Management of maternal-offspring behavior to improve lamb survival in easy care sheep systems. *J. Anim. Sci.* **86**: E259-270.
- Fahmy, M. H. 1990.** Development of DLS breed of sheep: genetic and phenotypic parameters of date of lambing and litter size. *Can. J. Anim. Sci.* **70**: 771-778.

- Fahmy, M. H. 1996a.** Feeding and management of prolific sheep - under intensive management: the total confinement experiment in Canada. Pages 413-428 *dans* Prolific sheep. M. H. Fahmy (éd.). CAB International, Wallingford, UK.
- Fahmy, M. H. (Editor), 1996b.** Prolific sheep. CAB International, Wallingford, 560 pp.
- Fan, L. Q., Bailey, D. R. et Shannon, N. H. 1995.** Genetic parameter estimation of postweaning gain, feed intake, and feed efficiency for Hereford and Angus bulls fed two different diets. *J. Anim. Sci.* **73**: 365-372.
- Finlayson, J. D., Cacho, O. J. et Bywater, A. C. 1995.** A simulation model of grazing sheep: I. Animal growth and intake. *Agric. Syst.* **48**: 1-25.
- Fisher, J. W. 2000.** Optimization of production/marketing cycles for sheep. *Ontario Sheep News* **13**: 11-13.
- Fisher, J. W. 2001.** An economic comparison of production systems for sheep. *Can. J. Agric. Econ.* **49**: 327-336.
- Fogarty, N. M., Hall, D. G. et Holst, P. J. 1992.** The effect of nutrition in mid pregnancy and ewe liveweight change on birth weight and management for lamb survival in highly fecund ewes. *Aust. J. Exp. Agric.* **32**: 1-10.
- Foot, J. Z. et Russel, A. J. F. 1979.** The relationship in ewes between voluntary food intake during pregnancy and forage intake during lactation and after weaning. *Anim. Prod.* **28**: 25-39.
- FPAMQ. 2010.** Agence de vente - Agneau lourd : Guide du producteur, Longueuil, QC, 15 pp.
- Fraysse, J. L. et Guitard, J. P. 1992.** Contrôle et amélioration de l'efficacité du système d'élevage. Pages 235-263 *dans* Produire des viandes Vol. 2 : Produire de la viande ovine. T. D.-. Lavoisier (éd.). Paris.
- Freetly, H. C. et Leymaster, K. A. 2004.** Relationship between litter birth weight and litter size in six breeds of sheep. *J. Anim. Sci.* **82**: 612-618.
- Gabina, D. 1989.** Improvement of the reproductive performance of Rasa Aragonesa flocks in frequent lambing systems. I. Effects of management system, age of ewe and season. *Livest. Prod. Sci.* **22**: 69-85.
- Gallo, C. B. et Davies, D. A. R. 1988.** Rearing twin and triplet lambs on the ewe. *Anim. Prod.* **47**: 111-121.
- Gallo, C. B. et Davies, D. A. R. 1991.** Effect of early weaning one lamb in a triplet lamb rearing system. *Anim. Prod.* **52**: 141-148.

- Gama, L. T., Dickerson, G. E., Young, L. D. et Leymaster, K. A. 1991.** Effects of breed, heterosis, age of dam, litter size, and birth weight on lamb mortality. *J. Anim. Sci.* **69**: 2727-2743.
- Gardner, D. S., Buttery, P. J., Daniel, Z. et Symonds, M. E. 2007.** Factors affecting birth weight in sheep: maternal environment. *Reproduction* **133**: 297-307.
- Gargouri, A., Caja, G., Such, X., Casals, R., Ferret, A., Vergara, H. et Peris, S. 1993a.** Effect of suckling regime and number of milkings per day on the performance of Manchega dairy ewes. Pages 468-483 *dans* Proc. Of the Fifth International Symposium on the Machine Milking of Small Ruminants, Budapest, Hungary.
- Gargouri, A., Caja, G., Such, X., Ferret, A., Casals, R. et Peris, S. 1993b.** Evaluation of a mixed system of milking and suckling in Manchega dairy ewes. Pages 484-499 *dans* Proc. Of the Fifth International Symposium on the Machine Milking of Small Ruminants, Budapest, Hungary.
- Gaskins, C. T., Snowden, G. D., Westman, M. K. et Evans, M. 2005.** Influence of body weight, age, and weight gain on fertility and prolificacy in four breeds of ewe lambs. *J. Anim. Sci.* **83**: 1680-1689.
- GenOvis. 2009.** Données brutes du programme GenOvis 2008. [En ligne] Disponible: <http://www.genovis.ca/fr/Performances.aspx?cat=3&p=1>. [9 mai 2010].
- Girard, N. et Hubert, B. 1999.** Modelling expert knowledge with knowledge-based systems to design decision aids: The example of a knowledge-based model on grazing management. *Agric. Syst.* **59**: 123-144.
- Gonyou, H. W., Stookey, J. M. et McNeal, L. G. 1985.** Effects of double decking and space allowance on the performance and behavior of feeder lambs. *J. Anim. Sci.* **60**: 1110-1116.
- Gootwine, E. 2005.** Variability in the rate of decline in birth weight as litter size increases in sheep. *Anim. Sci.* **81**: 393-398.
- Gorrill, A. D. L., Brisson, G. J., Emmons, D. B. et St-Laurent, G. J. 1990.** Élevage artificiel des agneaux, Agriculture Canada Publication, 1507/F, Ottawa, ON, 30 pp.
- Greenwood, P. L., Slepatis, R. M. et Bell, A. W. 2000.** Influences on fetal and placental weights during mid to late gestation in prolific ewes well nourished throughout pregnancy. *Reprod. Fertil. Dev.* **12**: 149-156.
- Hall, D. G., Fogarty, N. M. et Gilmour, A. R. 1986.** Seasonality of ovulation and estrus, and the ram effect in Poll Dorset ewes. *Theriogenology* **25**: 455-461.

- Hall, D. G., Gilmour, A. R. et Fogarty, N. M. 1994.** Variation in reproduction and production of Poll Dorset ewes. *Aust. J. Agric. Res.* **45**: 415-425.
- Harrison, S. R. 1990.** Regression of a model of real-system output: An invalid test of model validity. *Agric. Syst.* **34**: 183-190.
- Heaney, D. P. et Shrestha, J. N. B. 1987.** Effects of soyflour in milk replacer on the performance of artificially reared lambs. *Can. J. Anim. Sci.* **67**: 757-763.
- Heaney, D. P., Shrestha, J. N. B. et Peters, H. F. 1982a.** Performance of lambs fed milk replacers having two levels of fat. *Can. J. Anim. Sci.* **62**: 837-843.
- Heaney, D. P., Shrestha, J. N. B. et Peters, H. F. 1982b.** Potential alternatives to lamb milk replacer for the artificial rearing of lambs. *Can. J. Anim. Sci.* **62**: 1135-1142.
- Heaney, D. P., Shrestha, J. N. B. et Peters, H. F. 1982c.** Rapeseed oil versus coconut oil as a source of fat for lamb milk replacers. *Can. J. Anim. Sci.* **62**: 1241-1243.
- Heaney, D. P., Shrestha, J. N. B. et Peters, H. F. 1984.** Postweaning performance of artificially reared lambs weaned at 21 vs. 28 days of age under two postweaning housing regimens. *Can. J. Anim. Sci.* **64**: 667-674.
- Hirning, H. J., Faller, T. C., Hoppe, K. J., Nudell, D. J. et Ricketts, G. E. 1994.** Sheep housing and equipment handbook. MWSPPS-3, Ames, IA, 96 pp.
- Horton, G. M. J., Malinowski, K., Burgher, C. C. et Palatini, D. D. 1991.** The effect of space allowance and sex on blood catecholamines and cortisol, feed consumption and average daily gain in growing lambs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **32**: 197-204.
- Houdoy, D. 1995.** L'ambiance dans les bergeries. *Pâtre, Mars 1995*: 21-22.
- Ingrand, S., Dedieu, B., Agabriel, J. et Pérochon, L. 2002.** Modélisation du fonctionnement d'un troupeau bovin allaitant selon la combinaison des règles de conduite. Premiers résultats de la construction du simulateur SIMBALL. *Rencontres Autour des Recherches sur les Ruminants* **9**: 61-64.
- Janssen, S. et van Ittersum, M. K. 2007.** Assessing farm innovations and responses to policies: A review of bio-economic farm models. *Agric. Syst.* **94**: 622-636.
- Janssens, S., Vandepitte, W. et Bodin, L. 2004.** Genetic parameters for litter size in sheep: natural *versus* hormone-induced oestrus. *Genet., Sel., Evol.* **36**: 543-562.
- Knight, T. W., Atkinson, D. S., Haack, N. A., Palmer, C. R. et Rowland, K. H. 1993.** Effects of suckling regime on lamb growth rates and milk yields of Dorset ewes. *N. Z. J. Agric. Res.* **36**: 215-222.

- Lemelin, M. 2007.** Estimé des coûts fixes d'une bergerie pour l'engraissement d'agneaux lourds, MAPAQ, Nicolet, QC, 2 pp.
- Lewis, R. M., Notter, D. R., Hogue, D. E. et Magee, B. H. 1996.** Ewe fertility in the STAR accelerated lambing system. *J. Anim. Sci.* **74**: 1511-1522.
- Lindhahl, I. L., Sidwell, G. M. et Terrill, C. E. 1972.** Performance of Artificially Reared Finnsheep-Cross Lambs. *J. Anim. Sci.* **34**: 935-939.
- Lormore, M. J. et Galligan, D. T. 2001.** Economics of atypical lactation. *J. Dairy Sci.* **84**(E. Suppl.): E212-E215.
- Louca, A. 1972.** The effect of suckling regime on growth rate and lactation performance of the Cyprus Fat-tailed and Chios sheep. *Anim. Prod.* **15**: 53-59.
- Makarechian, M., Whiteman, J. V., Walters, L. E. et Munson, A. W. 1978.** Relationships between growth rate, dressing percentage and carcass composition in lambs. *J. Anim. Sci.* **46**: 1610-1617.
- María, G. A. et Ascaso, M. S. 1999.** Litter size, lambing interval and lamb mortality of Salz, Rasa Aragonesa, Romanov and F1 ewes on accelerated lambing management. *Small Ruminant Res.* **32**: 167-172.
- Matthews, K. B., Wright, I. A., Buchan, K., Davies, D. A. et Schwarz, G. 2006.** Assessing the options for upland livestock systems under CAP reform: Developing and applying a livestock systems model within whole-farm systems analysis. *Agric. Syst.* **90**: 32-61.
- McKusick, B. C., Berger, Y. M. et Thomas, D. L. 1999.** Effects of three weaning and rearing systems on commercial milk production and lambing growth. Pages 15-28 *dans* Proc. of the 5th Great Lakes Dairy Sheep Symposium, Brattleboro, VT.
- Michels, H., Decuyper, E. et Onagbesan, O. 2000.** Litter size, ovulation rate and prenatal survival in relation to ewe body weight: genetics review. *Small Ruminant Res.* **38**: 199-209.
- Morel, P. C. H. et Kenyon, P. R. 2006.** Sensitivity analysis of weaner lamb production in New Zealand. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* **66**: 377-381.
- Morgan, J. E., Fogarty, N. M., Nielsen, S. et Gilmour, A. R. 2007.** The relationship of lamb growth from birth to weaning and the milk production of their primiparous crossbred dams. *Aust. J. Exp. Agric.* **47**: 899-904.
- Morrison, D. et Young, J. 1991.** Profitability of increasing lambing percentage in the Western Australian wheatbelt. *Aust. J. Agric. Res.* **42**: 227-241.

- Munro, S. S. 1961.** Croisement à trois voies pour l'élevage du mouton. Dans: Ministère de l'Agriculture du Canada (ed.) Nouvelles agricoles No. 1019.
- Nawaz, M. et Meyer, H. H. 1992.** Performance of Polypay, Coopworth, and crossbred ewes: I. Reproduction and lamb production. *J. Anim. Sci.* **70**: 62-69.
- Newton, J. E. et Orr, R. J. 1981.** The intake of silage and grazed herbage by Masham ewes with single or twin lambs and its repeatability during pregnancy, lactation and after weaning. *Anim. Prod.* **33**: 121-127.
- Notter, D. R. 2000.** Effects of ewe age and season of lambing on prolificacy in US Targhee, Suffolk, and Polypay sheep. *Small Ruminant Res.* **38**: 1-7.
- Notter, D. R. 2002.** Opportunities to reduce seasonality of breeding in sheep by selection. *Sheep and Goat Research Journal* **17**: 20-32.
- Notter, D. R. et Copenhaver, J. S. 1980a.** Performance of Finnish Landrace crossbred ewes under accelerated lambing. I. Fertility, prolificacy and ewe productivity. *J. Anim. Sci.* **51**: 1033-1042.
- Notter, D. R. et Copenhaver, J. S. 1980b.** Performance of Finnish Landrace crossbred ewes under accelerated lambing. II. Lamb growth and survival. *J. Anim. Sci.* **51**: 1043-1050.
- NRC. 1985.** Nutrient requirements of sheep. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC. 2006.** Nutrients requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and New World camelids. National Academic Press, Washington, DC.
- Nudell, D., Hughes, H. et Faller, T. 1998.** Critical control points for profitability in sheep production. [En ligne] Disponible: [8 mars 1999].
- Nugent, R. A. et Jenkins, T. G. 1993.** Simulated effects of culling ewes for age and failure to conceive on biological efficiency of an annual lambing production system. *J. Anim. Sci.* **71**: 310-320.
- O'Callaghan, D. et Boland, M. P. 1999.** Nutritional effects on ovulation, embryo development and the establishment of pregnancy in ruminants. *Anim. Sci.* **68**: 299-314.
- O'Shea, T., Al-Obaidi, S. A. R., Hillard, M. A., Bindon, B. M., Cummins, L. J. et Findlay, J. K. 1984.** Increased ovulation rate in Merino ewes and advancement of puberty in Merino lambs immunized with a preparation enriched in inhibin. Pages 335-337 *dans* Reproduction in sheep. D. R. Lindsay and D. T. Pearce (éds.). Australian academy of science, Canberra, AU.

- Okut, H., Bromley, C. M., Van Vleck, L. D. et Snowden, G. D. 1999.** Genotypic expression at different ages: I. Prolificacy traits of sheep. *J. Anim. Sci.* **77**: 2357-2365.
- Olesen, I., Svendsen, M., Klemetsdal, G. et Steine, T. A. 1995.** Application of a multiple-trait animal model for genetic evaluation of maternal and lamb traits in Norwegian sheep. *Anim. Sci.* **60**: 457-469.
- Orr, R. J. et Treacher, T. T. 1989.** The effect of concentrate level on the intake of grass silages by ewes in late pregnancy. *Anim. Prod.* **48**: 109-120.
- Orr, R. J. et Treacher, T. T. 1994.** The effect of concentrate level on the intakes of silages or hays by ewes in the 1st month of lactation. *Anim. Prod.* **58**: 109-116.
- Pang, H., Makarechian, M., Basarab, J. A. et Berg, R. T. 1999.** Structure of a dynamic simulation model for beef cattle production systems. *Can. J. Anim. Sci.* **79**: 409-417.
- Parker, C. F. et Pope, A. L. 1983.** The U.S. Sheep Industry: Changes and Challenges. *J. Anim. Sci.* **57**: 75-99.
- Peart, J. N., Edwards, R. A. et Donaldson, E. 1975.** The yield and composition of the milk of Finnish Landrace x Blackface ewes II. Ewes and lambs grazed on pasture. *J. Agric. Sci.* **85**: 315-323.
- Peters, H. F. et Heaney, D. P. 1974.** Factors influencing the growth of lambs reared artificially or with their dams. *Can. J. Anim. Sci.* **54**: 9-18.
- Petit, H. V. 1997.** Production of ewes rearing twin or triplet lambs fed grass silage with a commercial concentrate or a mixture of beet pulp and soybean meal. *Can. J. Anim. Sci.* **77**: 87-93.
- Piper, L. R. et Bindon, B. M. 1990.** The Booroola Gene, FEC^B , in Australia. Pages 43-45 *dans* Major genes for reproduction in sheep. J. M. Elsen, L. Bodin and J. Thimonier (éds.). INRA, Paris, France.
- Pollott, G. E. et Gootwine, E. 2004.** Reproductive performance and milk production of Assaf sheep in an intensive management system. *J. Dairy Sci.* **87**: 3690-3703.
- Purchas, R. W. 2000.** A program to assess the efficiencies of sheep-meat production systems: a teaching aid. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* **60**: 135-138.
- Purvis, I. W. et Hillard, M. A. 1997.** Biology and genetics of reproduction. Pages 375-394 *dans* The Genetics of Sheep. L. Piper and A. Ruvinsky (éds.). CAB International, Wallingford, UK.

- Quinton, V. M., Wilton, J. W., Robinson, J. A. et Mathur, P. K. 2006.** Economic weights for sow productivity traits in nucleus pig populations. *Livest. Sci.* **99**: 69-77.
- Ramsey, W. S., Hatfield, P. G. et Wallace, J. D. 1998.** Relationships among ewe milk production and ewe and lamb forage intake in Suffolk and Targhee ewes nursing single or twin lambs. *J. Anim. Sci.* **76**: 1247-1253.
- Rhind, S. M., Robinson, J. J. et McDonald, I. 1980.** Relationships among uterine and placental factors in prolific ewes and their relevance to variations in foetal weight. *Anim. Prod.* **30**: 115-124.
- Ricordeau, G., Thimonier, J., Poivey, J. P., Driancourt, M. A., Hochereau-De-Reviers, M. T. et Tchamitchian, L. 1990.** I.N.R.A. research on the Romanov sheep breed in France: A review. *Livest. Prod. Sci.* **24**: 305-332.
- Roy, A., Laforest, J. P., Castonguay, F. et Brisson, G. J. 1999.** Effects of maturity of silage and protein content of concentrates on milk production of ewes rearing twin or triplets lambs. *Can. J. Anim. Sci.* **79**: 499-508.
- SanCristobal-Gaudy, M., Bodin, L., Elsen, J. M. et Chevalet, C. 2001.** Genetic components of litter size variability in sheep. *Genet., Sel., Evol.* **33**: 249-271.
- Sanders, J. O. et Cartwright, T. C. 1979.** A general cattle production systems model. I: Structure of the model. *Agric. Syst.* **4**: 217-227.
- Sawalha, R. M., Conington, J., Brotherstone, S. et Villanueva, B. 2007.** Analyses of lamb survival of Scottish Blackface sheep. *animal* **1**: 151-157.
- Schilling, P., North, W. et Bogart, R. 1968.** The effect of sire on litter size in mice. *J. Hered.* **59**: 351-352.
- Schoknecht, P. A., Nobrega, S. N., Petterson, J. A., Ehrhardt, R. A., Slepetic, R. et Bell, A. W. 1991.** Relations between maternal and fetal plasma concentrations of placental lactogen and placental and fetal weights in well-fed ewes. *J. Anim. Sci.* **69**: 1059-1063.
- Shafer, W. R., Bourdon, R. M. et Enns, R. M. 2007.** Simulation of cow-calf production with and without realistic levels of variability. *J. Anim. Sci.* **85**: 332-340.
- Shafto, A. M., Crow, G. H., Shrestha, J. N. B., Parker, R. J., McVetty, P. B. et Palmer, W. M. 1996.** Genetic evaluation of lamb performance in Outaouais Arcott and Suffolk sheep, their crosses and Canadian Arcott- or Hampshire-sired three-breed crosses. *Can. J. Anim. Sci.* **76**: 15-22.
- Shrestha, J. N. B., Ainsworth, L. et Heaney, D. P. 1983.** Influence of breed on the reproductive performance of ewes treated with fluorogestone-acetate-impregnated

intravaginal sponge and pregnant mare's serum gonadotrophin during the breeding season. *Can. J. Anim. Sci.* **63**: 1-6.

- Shrestha, J. N. B. et Heaney, D. P. 1990.** Genetic basis of variation in reproductive performance. 2. Genetic correlation between gestation length and prolificacy in sheep. *Anim. Reprod. Sci.* **23**: 305-317.
- Shrestha, J. N. B. et Heaney, D. P. 1992.** Productivity of Arcott sheep and their crosses when lambs are raised with their dams. *Small Ruminant Res.* **8**: 333-344.
- Shrestha, J. N. B. et Heaney, D. P. 2003.** Review of Canadian, Outaouais and Rideau Arcott breeds of sheep: 1. Development and characterization. *Small Ruminant Res.* **49**: 79-96.
- Shrestha, J. N. B., Heaney, D. P. et Parker, R. J. 1992.** Productivity of three synthetic Arcott sheep breeds and their crosses in terms of 8-mo breeding cycle and artificially reared lambs. *Small Ruminant Res.* **9**: 283-296.
- Shrestha, J. N. B., Peters, H. F., Heaney, D. P. et Van Vleck, L. D. 1996.** Genetic trends over 20 years of selection in the three synthetic Arcotts, Suffolk and Finnish Landrace sheep breeds. 1. Early growth traits. *Can. J. Anim. Sci.* **76**: 23-34.
- Smeaton, D. C. et Clayton, J. B. 1998.** Productivity and profitability of twinning beef cows. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* **58**: 245-247.
- Smith, E. G., Howell, W. E., Lee, G. E. et Shrestha, J. N. B. 1982.** The economics of intensive sheep production, Agriculture Canada, Ottawa, ON, 71 pp.
- Snowder, G. D. et Van Vleck, L. D. 2003.** Estimates of genetic parameters and selection strategies to improve the economic efficiency of postweaning growth in lambs. *J. Anim. Sci.* **81**: 2704-2713.
- Sorensen, J. T., Kristensen, E. S. et Thyssen, I. 1992.** A stochastic model simulating the dairy herd on a PC. *Agric. Syst.* **39**: 177-200.
- Sormunen-Cristian, R. et Jauhiainen, L. 2001.** Comparison of hay and silage for pregnant and lactating Finnish Landrace ewes. *Small Ruminant Res.* **39**: 47-57.
- Sormunen-Cristian, R., Ketoja, E. et Hepola, H. 1997.** Sufficiency of the energy and protein standards for lactation of adult multiparous Finnish Landrace ewes. *Small Ruminant Res.* **26**: 223-237.
- Sormunen-Cristian, R. et Suvela, M. 1999.** Out-of-season lambing of Finnish Landrace ewes. *Small Ruminant Res.* **31**: 265-272.

- Southey, B. R., Rodriguez-Zas, S. L. et Leymaster, K. A. 2003.** Discrete time survival analysis of lamb mortality in a terminal sire composite population. *J. Anim. Sci.* **81**: 1399-1405.
- Southey, B. R., Rodriguez-Zas, S. L. et Leymaster, K. A. 2004.** Competing risks analysis of lamb mortality in a terminal sire composite population. *J. Anim. Sci.* **82**: 2892-2899.
- Tess, M. W., Bennett, G. L. et Dickerson, G. E. 1983.** Simulation of genetic changes in life cycle efficiency of pork production. I. A bioeconomic model. *J. Anim. Sci.* **56**: 336-353.
- Tess, M. W. et Kolstad, B. W. 2000a.** Simulation of cow-calf production systems in a range environment: I. Model development. *J. Anim. Sci.* **78**: 1159-1169.
- Tess, M. W. et Kolstad, B. W. 2000b.** Simulation of cow-calf production systems in a range environment: II. Model evaluation. *J. Anim. Sci.* **78**: 1170-1180.
- Theriez, M. 1991.** Conséquences de l'augmentation de la prolificité sur l'élevage des agneaux et sur la production de viande. *INRA Prod. Anim.* **4**: 161-168.
- Thonney, S. C., Gaskins, C. T. et Hillers, J. K. 1979.** Systems analysis of production alternatives for lamb management. *J. Anim. Sci.* **49**: 1176-1182.
- Tichit, M., Ingrand, S., Dedieu, B., Bouche, R., Cournut, S., Lasseur, J., Moulin, C. H., Napoléone, M. et Thénard, V. 2002.** Le fonctionnement du troupeau : une interaction entre la conduite de l'éleveur et les comportements reproductifs d'animaux. *Rencontres Autour des Recherches sur les Ruminants* **9**: 103-106.
- Treacher, T. T. 1985.** The possibilities for improving the performance of ewes suckling three or more lambs in grazing systems. Pages 371-381 *dans* Genetics of Reproduction in Sheep. R. B. Land and D. W. Robinson (éds.). Butterworths, London, UK.
- Tremblay, M.-È. 2003.** Analyse de groupe provinciale, Production ovine, 2002, FPAMQ et FGCAQ, 35 pp.
- Vesely, J. A. et Peters, H. F. 1981.** Lamb production from ewes of four breeds and their two-, three-, and four-breed crosses. *Can. J. Anim. Sci.* **61**: 271-277.
- Wang, C. T. et Dickerson, G. E. 1991a.** A deterministic computer simulation model of life-cycle lamb and wool production. *J. Anim. Sci.* **69**: 4312-4323.
- Wang, C. T. et Dickerson, G. E. 1991b.** Simulated effects of reproductive performance on life-cycle efficiency of lamb and wool production at three lambing intervals. *J. Anim. Sci.* **69**: 4338-4347.

- Wang, C. T. et Dickerson, G. E. 1991c.** Simulation of life-cycle efficiency of lamb and wool production for genetic levels of component traits and alternative management options. *J. Anim. Sci.* **69**: 4324-4337.
- Welsh, C. S., Golden, B. L., Enns, R. M., Garrick, D. J. et Nicoll, G. B. 2003.** Influence of birth weight and birth rank on lamb survivability. *J. Anim. Sci.* **81, Suppl. 1**: 68.
- Wheaton, J. E., Carlson, K. M., Windels, H. F. et Johnston, L. J. 1993.** CIDR: A new progesterone-releasing intravaginal device for induction of estrus and cycle control in sheep and goats. *Anim. Reprod. Sci.* **33**: 127-141.
- White, D. H. 1984.** Economic values of changing reproductive rates. Pages 371-377 *dans* *Reproduction in sheep*. D. R. Lindsay and D. T. Pearce (éds.). Australian academy of science, Canberra, AU.

CHAPITRE 3.

IMPACT DE LA PROLIFICITÉ SUR LA RENTABILITÉ DE L'ENTREPRISE OVINE QUÉBÉCOISE : APPROCHE PAR MODÉLISATION

3.1. INTRODUCTION

Parvenir à rentabiliser adéquatement leur entreprise est certainement une préoccupation actuelle pour les producteurs ovins québécois. Le contexte de production au Québec se traduit par des coûts de production relativement élevés. Par exemple, le climat (hivers rigoureux) exige l'utilisation de bâtiments isolés et limite la valorisation des pâturages. Le résultat est tel que l'entreprise ovine moyenne subit une perte annuelle nette de 61 \$/brebis (CECPA, 2007). Pour contrecarrer ces coûts de production élevés, il est nécessaire de viser une forte productivité. Il a été démontré qu'un système d'agnelages accélérés permettait de répartir les coûts d'élevage des brebis sur un plus grand nombre d'agneaux produits et ainsi améliorer considérablement la marge par brebis (Fisher, 2001). D'un point de vue économique, la taille de portée est un paramètre clé de la production de viande d'agneau (Wang et Dickerson, 1991c; Olesen *et al.*, 1995). Par ailleurs, l'augmentation de la taille de portée est accessible grâce à la disponibilité des races prolifiques telles que la Romanov et l'Arcott Rideau (Shrestha et Heaney, 2003), de même que les croisements issus de ces deux races. Une augmentation de la prolificité serait cependant plus bénéfique pour une entreprise à basse productivité que pour une à haute productivité (Wang et Dickerson, 1991c; Amer *et al.*, 1999; Morel et Kenyon, 2006; Quinton *et al.*, 2006). La hausse du nombre d'agneaux nés par brebis agnelée agit sur plusieurs aspects. Évidemment, les revenus sont haussés grâce au plus grand nombre d'agneaux vendus, mais plusieurs désavantages surgissent tels que la baisse du poids à la naissance des agneaux (Gootwine, 2005), la hausse du taux de mortalité (Notter et Copenhaver, 1980b), le ralentissement de la croissance (Roy *et al.*, 1999; Morgan *et al.*, 2007) et l'augmentation des coûts reliés à l'allaitement artificiel. Puisqu'il est complexe de calculer l'avantage net d'une amélioration

de la prolificité en considérant tous les facteurs influencés, une approche par simulation s'avère très utile. En fait, la modélisation informatique permet d'effectuer ces calculs sans les coûts et délais nécessaires aux expérimentations conventionnelles.

L'objectif général de cette recherche était de comparer, par simulations informatiques, la rentabilité de troupeaux ovins ayant différents niveaux de prolificité. De manière plus spécifique, le projet consistait à : 1) Bâtir un outil de simulation permettant de calculer l'impact d'un changement de prolificité sur les performances techniques et économiques de l'entreprise ovine, dans le contexte de production québécois; 2) Comparer les résultats techniques et économiques de troupeaux simulés avec des taux de prolificité de 1,5, 1,8, 2,1 et 2,4 agneaux nés par agnelage, tout en tenant compte de l'influence de la prolificité sur les autres paramètres zootechniques; 3) Valider les résultats obtenus selon différents contextes de production (rythme d'agnelage, fertilité moyenne, taux de mortalité des agneaux, taux de croissance des agneaux, prix des agneaux et des aliments).

3.2. MATERIEL ET METHODE

3.2.1. Description de l'outil de simulation

Conception générale

Un modèle déterministe a été conçu pour simuler le fonctionnement d'un troupeau ovin en système de production intensif (trois agnelages en deux ans). Les simulations à un agnelage par année sont aussi possibles. Ce modèle de simulation à événements discrets ayant la journée comme plus petit pas de temps est une application Web 2.0 développée principalement en langage PHP 5.2 qui utilise une base de données PostgreSQL 8.1. L'outil de simulation nommé « Simulovins » est basé sur l'environnement Debian Linux 5 avec un serveur Web Apache 2.2.9. Ainsi, le logiciel est disponible en ligne. L'outil est divisé en sept modules distincts regroupant chacun des interfaces de saisie et d'affichage des résultats (Figure 3.1). Le modèle a été bâti de façon à représenter les décisions de conduite d'élevage. Les niveaux de performance sont spécifiés par l'utilisateur au lieu d'être estimés à partir des autres données. Ainsi, pour faire fonctionner le simulateur, l'opérateur doit avoir en référence des données zootechniques qui lui permettront de combler les champs de

saisie de chaque module et de faire lui-même les ajustements nécessaires lors d'une modification d'un paramètre qui en influence d'autres. Les animaux ne sont pas considérés individuellement, mais plutôt en sous-groupes d'animaux semblables. Par exemple, tous les agneaux mâles, d'un même génotype et nés simples ont les mêmes caractéristiques de croissance. L'outil peut gérer, dans la même simulation, une ou plusieurs races de brebis et de béliers de même que les croisements possibles entre ceux-ci. De plus, les animaux reproducteurs peuvent former un seul groupe ou être divisés en deux à huit groupes de reproducteurs qui seront décalés dans le temps, ce qui permet une production d'agneaux plus régulière ainsi qu'une meilleure répartition du travail. La durée de la simulation est déterminée par l'utilisateur. Pour éviter les distorsions du début et de la fin de la simulation, la première et la dernière année de la simulation ne sont pas considérées dans les résultats.

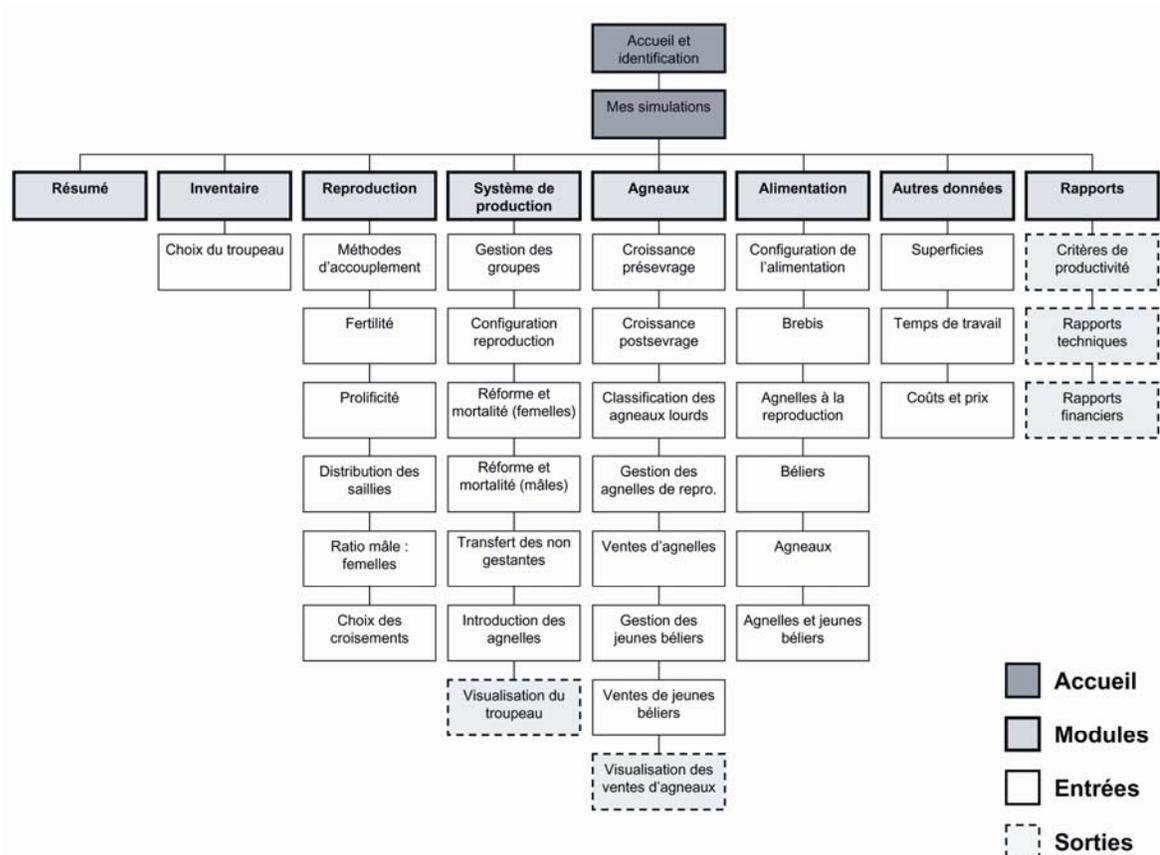


Figure 3.1. Organigramme des interfaces d'accueil, d'introduction de module, d'entrées et de sorties de la simulation.

Événements et paramètres d'entrée

Les principaux événements de la simulation concernant le troupeau reproducteur sont les saillies, les échographies, les agnelages et les sevrages (Figure 3.2). À chacun de ces événements, le logiciel calcule la composition du groupe (nombre et type de femelles). Au moment des tests de gestation, le taux de gestation est appliqué et permet de savoir combien de femelles vont agneler. Les taux de gestation sont fixés par l'utilisateur selon la période de l'année, les méthodes d'accouplement utilisées et le type de femelle concerné. À la période d'agnelage, le nombre de femelles de chaque type et leurs taux de prolificité respectifs génèrent la quantité d'agneaux nés. Aux agneaux de cette cohorte sont attribués les poids à la naissance, les taux de croissance et de mortalité de même que les caractéristiques propres à la vente de ces agneaux (poids d'abattage, rendement et classification des carcasses). Ces paramètres sont, eux aussi, déterminés par l'utilisateur. Les agneaux peuvent être commercialisés en agneau de lait (moins de 27,2 kg), agneau léger (27,2 à 36,3 kg), agneau lourd (plus de 36,3 kg) ou comme sujet reproducteur (CECPA, 2007). Ils peuvent aussi être conservés comme sujet reproducteur à l'intérieur même du troupeau. Ils seront alors intégrés au troupeau au moment déterminé par l'utilisateur. Suite à la période d'agnelage et de lactation, le sevrage est réalisé. Les brebis sont tarées et remises à l'accouplement au groupe de saillies suivant. Lorsque le troupeau est divisé en plusieurs groupes, les femelles non gestantes au test de gestation peuvent être transférées au groupe de saillie suivant.

En plus des paramètres illustrés, la simulation prend en compte les charges variables associées à l'atelier troupeau ainsi que les revenus (prix des agneaux vendus, des animaux de réforme et de la laine). Le module d'alimentation sert exclusivement au calcul des charges variables. En fait, dans la simulation, l'alimentation n'influence pas directement les autres paramètres. L'utilisateur qui désire simuler l'effet d'un changement d'alimentation doit modifier lui-même les paramètres qui sont influencés. Le simulateur calcule les coûts d'alimentation à partir du tableau des prix et des quantités d'aliments consommées quotidiennement par les animaux de tous les stades de production. Les proportions de naissances simples, doubles, triples et quadruples et plus sont attribuées pour chaque niveau de prolificité. Un certain nombre de paramètres reconnus pour être influencés par la taille

de portée sont entrés de façon distincte. Par exemple, les agneaux femelles nés simples se verront attribuer un poids à la naissance différent de celui des femelles nées doubles, triples ou quadruples. Aussi, pour chaque type de naissance, l'utilisateur fixe un pourcentage des agneaux qui seront élevés artificiellement.

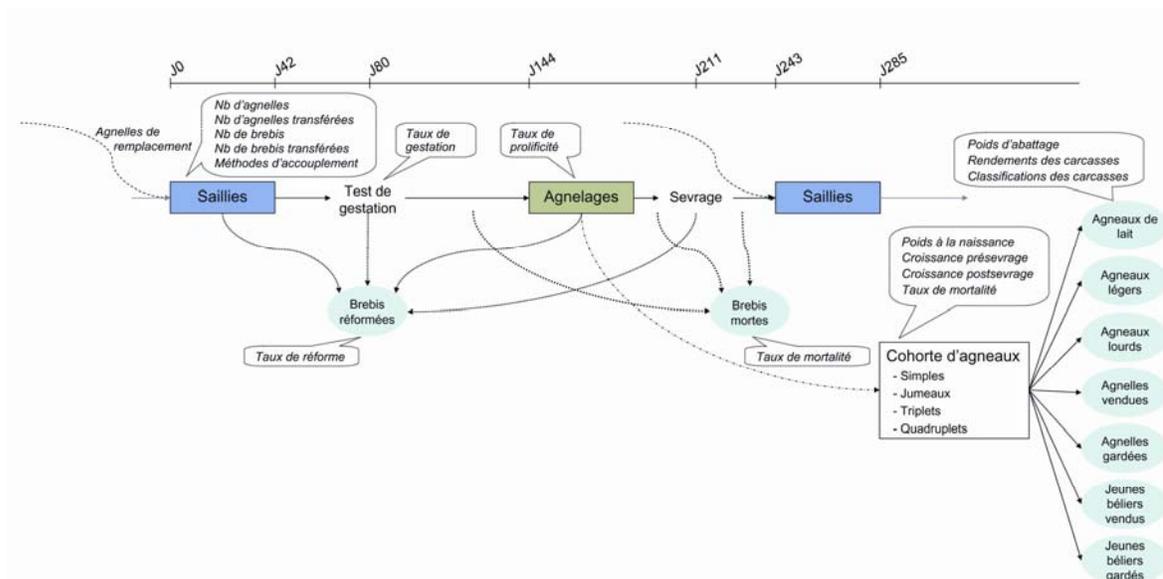


Figure 3.2. Fonctionnement du troupeau selon un système de production de trois agnelages en deux ans (la ligne représente le temps en jours, les paramètres sont montrés dans les bulles de texte tandis que les produits sont dans les ovales).

Remplacement, réforme et mortalité

Le simulateur est conçu pour conserver une taille de troupeau stable en équilibrant les entrées (sujets de remplacement) et les sorties (mortalité et réforme des animaux reproducteurs). Le taux de remplacement est donc stable durant la simulation et est prioritairement constitué des taux de mortalité et de réforme involontaire. Les « sorties » des femelles pour cause de mortalité ont été fixées à trois moments du cycle de production jugés critiques : à mi-chemin entre le sevrage et la prochaine saillie, à 115 jours après le début de la période de saillies et à 15 jours après le début des agnelages. La réforme involontaire regroupe toutes les femelles qui, dans un troupeau normal, doivent être éliminées du troupeau en raison de leur mauvaise condition. La réforme involontaire est faite à trois moments différents : au début de la période de saillies, au début de la période d'agnelages et au sevrage. Le reste des réformes (réforme volontaire) est constitué des

brebis diagnostiquées non gestantes à l'échographie ou à la fin des agnelages dans le cas où l'utilisateur a choisi de ne pas effectuer d'échographies. Les femelles non gestantes pour la troisième fois consécutive sont réformées en priorité. Ensuite, la réforme se fait selon les priorités données par l'utilisateur (agnelles non gestantes pour la première et la deuxième fois, brebis non gestantes pour la première et la deuxième fois). Le remplacement se fait de trois façons, soit par l'introduction de sujets reproducteurs issus de l'élevage à un âge déterminé par l'utilisateur, par l'achat de sujets reproducteurs ou par une combinaison des deux. L'introduction des nouveaux sujets reproducteurs se fait au début des saillies et est répartie à travers les groupes de reproduction. Ainsi, la taille du troupeau demeure stable d'une année à l'autre, mais varie durant l'année. Pour ce qui est des agneaux, la mortalité est divisée en mortalité périnatale (0 à 3 jours), en présevrage (fixée au quart de l'âge au sevrage) et en postsevrage (fixée à mi-temps entre le sevrage et l'abattage). En allaitement artificiel, la mortalité est appliquée à mi-chemin entre la naissance et le sevrage, puis à mi-chemin entre ce sevrage et celui des agneaux en allaitement naturel (sous la mère).

Étalement des saillies, des agnelages et des ventes

L'utilisateur choisit l'étalement théorique des saillies fécondantes en fonction de la technique de reproduction utilisée, elle aussi sélectionnée par l'utilisateur (synchronisée ou non, effet bélier, CIDR, MGA, photopériode classique et photopériode continue), ce qui détermine la répartition des agnelages dans le temps puisque la durée de gestation est fixée à 144 jours. Le simulateur répartit ensuite dans le temps les abattages des agneaux de chaque type, selon leurs performances de croissance respectives. Ainsi, il est possible de vérifier si le système de production simulé permet d'avoir un nombre d'agneaux abattus constant chaque semaine de l'année ou si les abattages coïncident avec les périodes de prix élevés.

Variables de sortie et validation

Les variables de sortie de la simulation comprennent un aperçu graphique des variations d'effectifs des femelles du troupeau et des ventes d'agneaux ainsi que divers rapports. Le premier rapport présente plusieurs critères de productivité calculés par groupe de saillies, par année ou par cycle, lorsque le cycle de reproduction est différent de 12 mois. La

fertilité, la prolificité, le rythme d'agnelage atteint, la productivité (nombre d'agneaux nés, sevrés et vendus par brebis par année) et les différents taux de mortalité et de réforme s'y retrouvent. Les autres rapports montrent les quantités d'aliments consommés par le troupeau, les revenus (ventes d'agneaux, de sujets de réforme, de sujets reproducteurs et de laine) et les charges variables (aliments, achats de sujets reproducteurs, mise en marché, soins vétérinaires, frais de reproduction et autres frais). De plus, la superficie en parquet nécessaire chaque jour est calculée à partir du nombre d'animaux de chaque type présent dans le troupeau au jour donné. Enfin, la marge brute peut être calculée.

Le modèle a d'abord été validé par la description détaillée de tous les modules. La structure du modèle, sa logique et sa conformité mathématique ont été validées durant le processus de développement. Ensuite, les calculs de chaque module ont été comparés avec des calculs effectués parallèlement. La validation des calculs s'est donc faite par section. Finalement, la validation des résultats obtenus selon une simulation de base représentant l'industrie locale a été faite.

Dans la conception du logiciel, une attention particulière a été portée à la convivialité. En effet, Simulovins guide l'utilisateur à travers la simulation afin qu'il puisse facilement entrer toutes les données nécessaires aux calculs, aux analyses et à la création des rapports.

3.2.2. Les simulations réalisées

3.2.2.1. Effet de la prolificité

Système de production

Quatre troupeaux commerciaux (quatre scénarios) ont été simulés avec différents niveaux de prolificité, soit faible (1,5 agneau né par brebis agnelée), moyen (1,8), élevé (2,1) et supérieur (2,4). Chaque troupeau de 500 femelles reproductrices a été divisé en quatre groupes de saillies (A, B, C, D) décalés dans le temps afin d'obtenir une production d'agneaux à longueur d'année durant les six années de la période simulée (Figure 3.3). La première et la dernière année des calculs des résultats ont été mises de côté afin d'éliminer la distorsion que causent le démarrage et la fin de la simulation. Les troupeaux sont régis

selon un système de production accéléré de trois agnelages en deux ans (intervalle de 8 mois entre les agnelages). Le début de la période de saillie du premier groupe a été fixé au 1^{er} janvier. Pour obtenir un étalement uniforme de la production, l'écart entre les groupes d'accouplement a été fixé à deux mois. Ainsi, les périodes d'accouplement du troupeau surviennent en janvier, mars, mai, juillet, septembre et novembre. Toutes les femelles de remplacement proviennent de l'élevage et sont mises à l'accouplement la première fois à un âge moyen de 9,5 mois, tandis que les béliers sont tous achetés. Les femelles sont échographiées 80 jours après la mise en accouplement afin de vérifier si elles sont gestantes. Les femelles diagnostiquées non gestantes sont remises à l'accouplement dans le groupe de saillies le plus près de l'échographie (changement de groupe de saillies) (Figure 3.3). En lactation, la politique de mise à l'allaitement artificiel est de laisser au maximum deux agneaux sous la mère. L'âge au sevrage moyen des agneaux élevés avec leur mère est de 50 jours tandis que les agneaux en allaitement artificiel sont sevrés à un âge moyen de 30 jours. Tout le troupeau est gardé à l'intérieur de bâtiments et alimenté à partir d'aliments achetés.

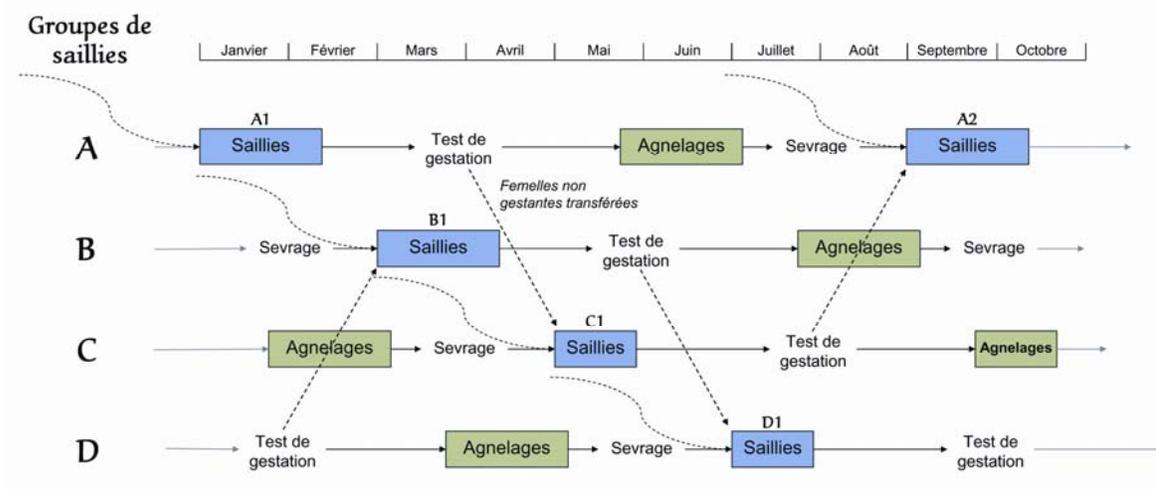


Figure 3.3. Mouvements des femelles reproductrices entre les quatre groupes de reproduction du troupeau simulé.

Reproduction et croisements

La technique de désaisonnement à l'aide d'un traitement à la progestérone (CIDR avec injection de eCG, Wheaton *et al.*, 1993) a été choisie pour les accouplements en contre-saison sexuelle (mai et juillet) tandis que pour les autres périodes d'accouplements, les saillies sont naturelles. Chaque période d'accouplements en contre-saison a une durée de quatre semaines. La durée est de six semaines pour les autres périodes. Les taux de fertilité varient selon la période de l'année et le type de femelles (agnelles, brebis adultes, et femelles remises à l'accouplement après un test de gestation négatif). Le taux de fertilité le plus faible (40 %) est attribué aux agnelles remises à l'accouplement au mois de mai tandis que le taux le plus élevé (90 %) est accordé aux brebis mises à l'accouplement en novembre ou janvier. En saison sexuelle, le ratio bélier:brebis a été établi à 1:25-30, tandis qu'en contre-saison sexuelle, il est de 1:8. Les échographies de gestations ont lieu 80 jours après le début de la période de saillies

Puisque l'objectif n'était pas de comparer les performances de races différentes, une race « maternelle » hypothétique a été créée. Une partie des femelles de cette race « commerciale » est accouplée avec des béliers de la même race pour assurer le renouvellement du troupeau, tandis que le reste du troupeau reproducteur est destiné à la production d'agneaux de marché. Toutes les agnelles sont placées avec des béliers de race maternelle tandis que 63, 70, 75 et 78 % des brebis adultes sont placées avec des béliers de race « paternelle » (terminaux) pour produire les agneaux de marché pour les scénarios à prolificité de 1,5, 1,8, 2,1 et 2,4 agneaux nés par agnelage, respectivement. Ces différents pourcentages permettent un taux de sélection équivalent pour le remplacement des femelles du troupeau. Ainsi, dans les cohortes où des femelles sont gardées pour le remplacement, une moyenne de 62 % des femelles maternelles disponibles au sevrage est sélectionnée. Selon White (1984), accroître la productivité numérique dans un troupeau fermé permet de vendre une plus grande proportion des agneaux produits et d'augmenter la pression de sélection sur les sujets de remplacement. En modifiant les proportions des femelles reproductrices placées avec les béliers de races maternelle et paternelle, la pression de sélection a été maintenue constante à travers les quatre hypothèses tout en capitalisant sur l'efficacité des agneaux issus du croisement terminal à donner des agneaux de marché.

Remplacement et vente des agneaux

Certains paramètres sont communs aux quatre scénarios (Tableau 3.1). Les taux de réforme et de mortalité des sujets reproducteurs ont été déterminés à partir de l'étude québécoise des coûts de production des agneaux en 2006 réalisée par le Centre d'études sur les coûts de production en agriculture (CECPA, 2007). Les poids d'abattage moyens des agneaux de lait et légers sont aussi tirés de cette étude. Celui des agneaux lourds provient de la moyenne de la même étude, mais a été ajusté pour le sexe et le croisement des agneaux. Un poids vif à l'abattage inférieur de 5 kg à celui des mâles permet d'éviter un état d'engraissement trop élevé des femelles. La différence de rendement carcasse entre les mâles et les femelles est issue de données obtenues dans des projets de recherche antérieurs menés par notre équipe (données non publiées). Pour l'indice de classification, la différence est celle observée sur un échantillon de 531 agneaux lourds abattus et classifiés au Québec entre 2006 et 2009 (Fédération des producteurs d'agneaux et moutons du Québec (FPAMQ), données non publiées). Les données de rendement carcasse et de classification sont les mêmes pour les différents types de naissance. Comme une proportion plus faible des agneaux nés triples et quadruples est vendue en agneaux lourds, il a été convenu que ceux qui sont choisis pour ce marché en ont le potentiel (Tableau 3.2).

Tableau 3.1. Paramètres de production communs à toutes les simulations

	Valeur
Poids mature (kg)	
Femelles	75
Mâles maternels	105
Mâles paternels	125
Réforme involontaire des femelles (% ^z)	4
Réforme des femelles pour cause de reproduction (% ^z)	5
Mortalité des femelles (% ^z)	6
Réforme des béliers (% ^z)	13
Mortalité des béliers (% ^z)	7
Poids d'abattage des agneaux (kg)	
Agneaux de lait	23,6
Agneaux légers	31,3
Agneaux lourds mâles maternels	49,2
Agneaux lourds mâles paternels	52,2
Agneaux lourds femelles maternels	44,2
Agneaux lourds femelles paternels	47,2
Perte à jeun (% ^y)	7,3
Rendement carcasse chaude (% ^x)	
Mâles	50,0
Femelles	52,0
Indice de classification ^w	
Mâles	101
Femelles	95

^z Le pourcentage, appliqué à l'inventaire moyen, produit un nombre de sujets à réformer annuellement qui est réparti à travers les groupes de gestion

^y Pourcentage de perte de poids des agneaux lors du transport et de l'attente avant l'abattage

^x Poids de la carcasse chaude/poids à jeun

^w L'indice de classification est établi en fonction de l'épaisseur de gras dorsal pris sur la carcasse et de la cote de classification moyenne établie par un classificateur (FPAMQ, 2010)

Tableau 3.2. Répartition des ventes d'agneaux (%) selon le type de croisement et la prolificité moyenne

Type d'agneau	Croisement maternel				Croisement terminal			
	1,5	1,8	2,1	2,4	1,5	1,8	2,1	2,4
Lait (%)	20	28	31	35	10	18	21	25
Léger (%)	20	20	20	20	20	20	20	20
Lourd (%)	60	52	49	45	70	62	59	55

Caractéristiques des agneaux

Les proportions des types de naissance varient avec la prolificité moyenne (Figure 3.4). Ainsi, plusieurs paramètres ont été ajustés en fonction du type de naissance ou de la prolificité moyenne (Tableaux 3.3 et 3.4). Pour ce faire, la base de données du programme d'évaluation génétique GenOvis (CEPOQ, 2009), en vigueur au Canada, a été utilisée de concert avec la littérature (Heaney *et al.*, 1982a, b, c; Gallo et Davies, 1988; Shrestha *et al.*, 1992; Roy *et al.*, 1999; Gootwine, 2005; Gardner *et al.*, 2007) et les données de projets antérieurs de notre équipe de recherche. Lorsque les données appropriées n'étaient pas disponibles, des hypothèses logiques et compatibles avec les résultats connus ont été émises. Lors de sa consultation, la base de données GenOvis contenait un total de 135 743 entrées (agneaux) chez 41 producteurs. Seules les années 1998 à 2008 ont été conservées pour les analyses. Pour établir les caractéristiques des agneaux de race maternelle, les races pures Dorset, Polypay, Arcott Rideau et Romanov ont été utilisées alors que les performances de la race paternelle ont été estimées avec les races pures Suffolk, Hampshire et Arcott Canadien. De cette façon, le nombre d'agneaux ayant fait partie de l'analyse a été ramené à 87 909. La moyenne du poids à la naissance a été calculée pour chaque type de naissance et sexe des agneaux. Le poids à la naissance des agneaux nés doubles, triples et quadruples a été fixé à 85, 72 et 63 % du poids des agneaux nés simples, en moyenne. Ensuite, les moyennes des gains moyens quotidiens (GMQ) présevrage et postsevrage ont été calculées selon le sexe pour les agneaux nés simples et élevés simples puis nés doubles, triples et quadruples et élevés doubles, étant donné qu'un maximum de deux agneaux est allaité par la mère. Ainsi, la vitesse de croissance en présevrage a été similaire pour les agneaux nés doubles, triples et quadruples laissés avec leur mère. En période postsevrage, la vitesse de croissance a été similaire selon les types de naissance sauf pour les agneaux quadruples qui montrent un gain compensatoire, ce qui est conséquent avec les résultats de Notter et Copenhaver (1980b). Les taux de mortalité des agneaux ont été calculés de la même façon, mais sans égard au sexe des agneaux. Les taux de mortalité périnatale et présevrage ont augmenté avec l'accroissement du nombre d'agneaux nés avec une hausse plus marquée pour les agneaux nés triples et quadruples. En raison de la durée de croissance plus longue pour les agneaux légers et lourds, les taux de mortalité postsevrage ont été fixés à 0,5, 0,75 et 1,0 % pour les agneaux de lait, légers et lourds, respectivement.

Pour les agneaux nés simples, doubles, triples et quadruples, les pourcentages des agneaux nés vivants placés à l'allaitement artificiel ont été fixés à 3, 6, 22,5 et 41 %, respectivement. Ces pourcentages respectent la politique de mise à l'allaitement artificiel en allouant un maximum de deux agneaux allaités par une brebis. Pour les agneaux en allaitement artificiel (Tableau 3.4), les poids à la naissance ont été calculés à partir des proportions des agneaux de chaque type de naissance placés à l'allaitement artificiel et de leurs poids à la naissance respectifs. Le GMQ présevrage a été ajusté de la même façon.

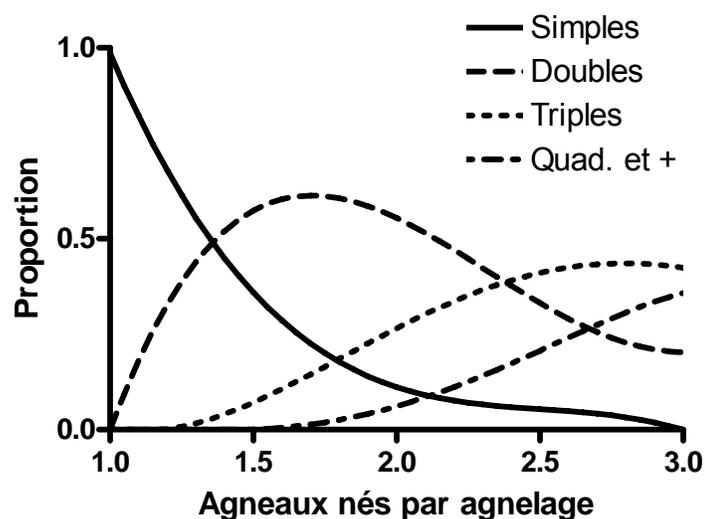


Figure 3.4. Proportions des types de naissance selon la prolificité moyenne (à partir des résultats de l'analyse des données GenOvis).

Tableau 3.3. Paramètres de croissance et de mortalité des agneaux en allaitement naturel ajustés selon le type de croisement et le type de naissance

		Croisement maternel				Croisement terminal			
		Simple	Double	Triple	Quad. et +	Simple	Double	Triple	Quad. et +
Poids naissance (kg)	M	5,2	4,4	3,7	3,3	5,4	4,6	3,8	3,4
	F	4,9	4,2	3,6	3,1	5,1	4,4	3,7	3,2
GMQ présevrage (kg/j)	M	0,328	0,269	0,261	0,264	0,343	0,281	0,273	0,276
	F	0,303	0,254	0,248	0,242	0,317	0,266	0,259	0,253
GMQ postsevrage (kg/j)	M	0,311	0,311	0,319	0,333	0,362	0,362	0,371	0,387
	F	0,263	0,273	0,276	0,292	0,306	0,318	0,321	0,340
Mortalité périnatale (%)		6,4	9,5	16,6	22,1	4,4	7,5	14,6	20,1
Mortalité présevrage (%)		1,6	2,8	5,0	7,4	0,6	1,8	4,0	6,4

Tableau 3.4. Paramètres de croissance et de mortalité des agneaux en allaitement artificiel ajustés selon le type de croisement et le niveau de prolificité

		Croisement maternel				Croisement terminal			
		1,5	1,8	2,1	2,4	1,5	1,8	2,1	2,4
Poids naissance (kg)	M	4,4	4,1	3,8	3,7	4,6	4,2	4,0	3,8
	F	4,2	3,9	3,7	3,5	4,4	4,0	3,8	3,6
GMQ présevrage (kg/j)	M	0,255	0,245	0,242	0,241	0,265	0,256	0,252	0,251
	F	0,245	0,235	0,231	0,229	0,254	0,246	0,242	0,239
GMQ transition ^z (kg/j)	M	0,295	0,295	0,295	0,295	0,309	0,309	0,309	0,309
	F	0,275	0,275	0,275	0,275	0,288	0,288	0,288	0,288
GMQ postsevrage (kg/j)	M	0,320	0,320	0,320	0,320	0,372	0,372	0,372	0,372
	F	0,280	0,280	0,280	0,280	0,326	0,326	0,326	0,326
Mortalité présevrage (%)		5,0	5,0	5,0	5,0	4,5	4,5	4,5	4,5
Mortalité transition (%)		2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5

^z La période de transition est celle entre le sevrage des agneaux à l'allaitement artificiel et celui des agneaux élevés sous la mère

Alimentation

Les quantités d'aliments consommées quotidiennement par les animaux du troupeau (Annexe A) ont été déterminées principalement à partir du logiciel de formulation de rations Oviration 3.0 (Softagro, St-Ulric, Québec, Canada), en respectant les normes du NRC (1985, 2006). Pour les quatre hypothèses, la suralimentation en période d'accouplement (« flushing ») débute dix jours avant le début de la période de saillie et se termine à la fin de cette même période. La suralimentation de fin de gestation commence 30 jours avant le début de la période d'agnelages. Puisque le sevrage des agneaux sous allaitement artificiel a été fixé à 30 jours d'âge, soit 20 jours plus tôt que le sevrage des agneaux élevés sous la mère, réalisé à l'âge de 50 jours, une période de transition a été créée pour combler cet écart. Les quantités d'aliments entrées sont sur une base de matière sèche pour le fourrage et sur une base telle que servie pour les concentrés. Les quantités de fourrage ont été majorées de 10 % pour considérer les refus. Le fourrage utilisé est un ensilage de graminées de deuxième coupe avec 2,1 Mcal/kg d'énergie métabolisable et 15,1 % de protéine brute. Ce seul fourrage est servi à tous les animaux de tous les stades de production. Les femelles reproductrices reçoivent aussi, selon les stades, du maïs grain sec et du tourteau de soya.

Chez les femelles reproductrices, les quantités d'aliments consommés varient selon la taille de portée en suralimentation de fin de gestation et durant la période de lactation. En fin de gestation, les brebis ne sont pas triées selon leur taille de portée. La ration est donc ajustée selon la prolificité moyenne attendue. De cette façon, les besoins ont été augmentés pour les scénarios à haute prolificité. En lactation, comme les troisième et quatrième agneaux d'une même portée sont placés à l'allaitement artificiel, seules les rations de femelles allaitant un ou deux agneaux sont utilisées. Du côté des agneaux, les quantités ont été ajustées pour obtenir des rations à 85 % de concentrés et 15 % de fourrages. Un concentré commercial à 18 % de protéines est utilisé pour les agneaux en bas âge. De l'âge de 72 jours à l'abattage, les agneaux reçoivent un concentré commercial à 16 % de protéines. La consommation volontaire de matière sèche (CVMS) des agneaux a été modulée en fonction du poids vif des agneaux de chaque type, et ce, à chaque phase de croissance. Ainsi, les agneaux à faible croissance ont une consommation quotidienne inférieure à ceux à haute

croissance. En allaitement artificiel, la quantité de poudre de lait est fixée à 1,16 kg pour chaque kilogramme de gain de poids (Gorrill *et al.*, 1990; Cameron, 2004).

Superficie, litière et temps de travail

La superficie nécessaire au bon fonctionnement du troupeau a été fixée de façon à ce qu'elle respecte les recommandations (Tableau 3.5) au moins 90 % du temps de la simulation. Considérant que les parquets représentent les 2/3 de la superficie des bâtiments et que le loyer annuel moyen est de 23,04 \$/m² (Lemelin, 2007), il est possible d'intégrer en charge variable un ajustement pour les différences de loyer reliées au nombre d'agneaux à élever. La quantité de paille par brebis par année passe de 72,8 à 75,0, 77,1 et 78,9 kg pour les scénarios 1,5, 1,8, 2,1 et 2,4. Après consultation de quelques intervenants en production ovine, la quantité de paille pour le scénario 1,8 (prolificité moyenne rencontrée sur le terrain) a été fixée à 75 kg par brebis par année. Ensuite, cette quantité a été majorée dans le même ordre de grandeur que pour les changements de superficies nécessaires au troupeau.

Le temps de travail a été considéré dans les calculs, mais seulement de façon partielle. Effectivement, très peu de données sont disponibles sur le sujet et lorsqu'elles le sont, le contexte de production ne concorde pas avec celui du Québec. Chose certaine, le nombre d'heures travaillées par brebis par année varie énormément d'un élevage à l'autre (Centre d'études sur les coûts de production en agriculture, 2008, communication personnelle). De plus, une analyse des données recueillies pour l'étude sur le coût de production de l'agneau n'a pas permis de relier le temps de travail à la productivité ou à la prolificité (Centre d'études sur les coûts de production en agriculture, 2008, communication personnelle). Ainsi, seul le temps de travail pour l'élevage des agneaux en allaitement artificiel a été inclus dans les comparaisons. Dans un système comme celui simulé, l'élevage des agneaux surnuméraires serait la principale source d'augmentation du temps de travail pour les troupeaux à haute prolificité. Une heure de travail a donc été ajoutée pour chaque agneau placé sous allaitement artificiel (Cameron, 2004) à un taux horaire de 10,65 \$/h. Comme pour la superficie, l'hypothèse à 1,5 de prolificité a été utilisée comme base de comparaison.

Tableau 3.5. Superficies en parquet pour les ovins de différents stades de production

Stade de production	Superficie en parquet (m ² /animal) ^z
Femelles reproductrices	
Entretien	1,30
Saillie	1,30
Gestation	1,30
Fin de gestation	1,50
Lactation :	
1 agneau	1,75
2 agneaux	2,00
Béliers	2,25
Agneaux	
Naissance-sevrage (allaitement artificiel)	0,25
Phase de transition (allaitement artificiel)	0,50
Sevrage-abattage	0,75
Agnelles de remplacement	
50-120j	0,75
121j-saillie	1,25

^z À partir de Hirning *et al.*, 1994; CRAC, 1995; Demirören *et al.*, 1995; Houdoy, 1995; Bélanger et Potvin, 2000; Blanchin, 2005; Alliance Pastorale, 2007.

Les prix utilisés, tirés de données de la Fédération des producteurs d'agneaux et moutons du Québec et de l'étude sur le coût de production des agneaux en 2006 au Québec (CECPA, 2007,) représentent des prix moyens au Québec pour la période 2004-2008 (Tableau 3.6). Les animaux vendus sont payés sur une base de poids vif exception faite des agneaux lourds qui sont payés sur une base de poids de carcasse chaude. Le prix des agneaux lourds est modulé par l'indice de classification de la carcasse. Quoique normalement les prix varient selon le moment de l'année, la simulation a été réalisée avec des prix moyens stables durant toute la période simulée. Puisque l'objectif n'était pas de comparer différents calendriers de production, il n'était pas utile de considérer les variations de prix dans le temps.

Tableau 3.6. Liste des prix et des coûts

Paramètre	Valeur
Agneau de lait (\$/kg vif)	4,17
Agneau léger (\$/kg vif)	3,64
Agneau lourd (\$/kg carcasse chaude)	7,03
Brebis réforme (\$/kg vif)	1,34
Bélier réforme (\$/kg vif)	1,34
Laine (\$/kg)	0,47
Bélier maternel remplacement (\$/bélier)	500
Bélier paternel remplacement (\$/bélier)	750
Mise en marché lait (\$/agneau)	7,14
Mise en marché léger (\$/agneau)	9,14
Mise en marché lourd (\$/agneau)	15,76
Mise en marché brebis réforme (\$/brebis)	12,43
Mise en marché bélier réforme (\$/bélier)	11,31
Litière (\$/tonne)	80,57
Tonte (\$/animal)	2,50
Vétérinaire (\$/brebis)	4,86
Identification permanente (\$/agneau)	2,19
Traitement hormonal de désaisonnement (\$/brebis)	8,20
Échographie de gestation (\$/brebis)	2,00
Ensilage d'herbe (\$/tonne M.S.)	150
Maïs (\$/tonne T.Q.S.)	164
Tourteau soya (\$/tonne T.Q.S.)	340
Moulée 18 % (\$/tonne T.Q.S.)	315
Moulée 16 % (\$/tonne T.Q.S.)	275
Poudre de lait (\$/tonne T.Q.S.)	2800

La productivité numérique (nombre d'agneaux vendus par brebis par année) et la marge brute (revenus totaux–charges variables) ont été retenues comme mesures des performances des troupeaux. Puisque les effectifs du troupeau reproducteur demeurent stables à travers la simulation, les résultats ramenés par brebis sont les résultats totaux divisés par 500, soit le nombre de femelles reproductrices. Les résultats économiques tels que la marge brute

doivent être utilisés à titre comparatif seulement puisque les charges fixes ne sont pas prises en compte.

3.2.2.2. *Évaluation de la sensibilité de l'effet de la prolificité sur la marge brute*

Une analyse de sensibilité a été réalisée afin d'identifier quelques paramètres d'importance ayant un impact majeur sur la relation entre la prolificité et la marge brute (Tableau 3.7). Ce type d'analyse de sensibilité est différent de certaines réalisées dans d'autres études, car elle ne tente pas d'identifier quel facteur a le plus d'influence sur une variable d'intérêt (ex. : marge brute), mais plutôt la relation entre le niveau de prolificité et la marge brute. Ainsi, les quatre niveaux de prolificité ont été simulés avec différents prix pour l'agneau de lait, léger et lourd de même que pour les aliments. Les prix les plus faibles et plus élevés ont été choisis parmi les moyennes des années 2004 à 2008, inclusivement. Des scénarios pessimistes et optimistes pour les taux de mortalité et de croissance des agneaux ont aussi été testés. Finalement, les quatre hypothèses de base ont été simulées avec des taux de fertilité inférieurs et supérieurs puis avec un rythme d'agnelage plus lent. Les prix des animaux et des aliments ont été ciblés pour l'analyse de sensibilité puisqu'ils modulent les principaux revenus et dépenses, respectivement. Comme les taux de mortalité et de croissance des agneaux sont influencés par la taille de portée, il était intéressant d'évaluer l'impact de contextes favorables et défavorables pour ces deux critères.

Tableau 3.7. Valeurs des paramètres modifiés pour l'analyse de sensibilité

Paramètre	Inférieur	Supérieur
Prix des animaux (\$/kg)		
Agneau de lait	3,54	4,80
Agneau léger	3,09	4,19
Agneau lourd	5,98	8,08
Animaux de réforme	1,14	1,54
Prix des aliments (\$/tonne ^z)		
Ensilage	105	195
Maïs	115	213
Tourteau soya	238	442
Moulée « début »	221	410
Moulée « croissance »	193	358
Poudre de lait	1960	3640
Taux de mortalité des agneaux ^y	-50 %	+50 %
Fertilité moyenne (%)	61,3	81,3
Rythme d'agnelage visé ^x (agnelage/année)	1,33	-
Taux de croissance des agneaux (g/j)	-10 %	+10 %

^z Les prix des aliments sont sur une base telle que servie sauf pour l'ensilage d'herbe qui est sur une base de matière sèche.

^y En référence aux valeurs des tableaux 3.3 et 3.4.

^x Équivalent à un intervalle d'agnelages visé de neuf mois.

3.3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.3.1. Effet de la prolificité

Comme souhaité dans les hypothèses de base, le nombre total de femelles reproductrices des troupeaux est resté stable sur toute la durée de la simulation (données non présentées). Tel qu'attendu, les fluctuations des animaux reproducteurs à travers les groupes de saillies ont été identiques pour les quatre hypothèses simulées. Le calendrier de production, les taux de fertilité attribués à chaque type de femelle et la politique de remise à l'accouplement des femelles non gestantes à l'échographie ont ainsi permis un bon fonctionnement du troupeau. Avec un calendrier de reproduction basé sur un système de

trois agnelages en deux ans, le rythme d'agnelage s'est élevé à 1,24 agnelage par brebis par année avec une fertilité moyenne de 71,3 %. Ces performances ont été possibles grâce à la remise à l'accouplement relativement rapide des femelles diagnostiquées non gestantes à l'échographie.

En ce qui a trait aux performances techniques, mentionnons que le nombre d'agneaux nés par brebis par année a évidemment augmenté avec l'augmentation du nombre d'agneaux nés par brebis par agnelage (Tableau 3.8). Le rythme d'agnelage a transformé chaque augmentation de 0,3 de prolificité en une hausse d'environ 0,37 du nombre d'agneaux nés par brebis par année. Résultat des taux de mortalité plus élevés des agneaux issus de portées de grandes tailles, le nombre d'agneaux sevrés par brebis par année a augmenté de façon décroissante (non linéaire) à mesure que la prolificité augmentait. Le même phénomène s'observe de façon plus marquée pour le poids d'agneaux sevrés par brebis par année. Ceci s'explique par les poids à la naissance et taux de croissance inférieurs pour les agneaux de taille de portée plus élevée. Par exemple, le poids au sevrage moyen d'un agneau du scénario 1,5 était de 19,02 kg par rapport à 17,52 kg pour le scénario 2,4. Puisque le nombre de femelles gardées pour le remplacement des brebis est le même pour les quatre scénarios et que les taux de mortalité des agneaux en postsevrage ne varient pas selon la taille de portée moyenne, le nombre d'agneaux vendus par brebis par année s'est comporté de la même façon que le nombre d'agneaux sevrés. Finalement, la superficie en parquets nécessaire au troupeau a très peu augmenté et de façon décroissante avec l'augmentation de la prolificité moyenne (1,82, 1,87, 1,92 et 1,97 m²/brebis pour les niveaux de prolificité de 1,5, 1,8, 2,1 et 2,4, respectivement).

Tableau 3.8. Performances techniques annuelles d'un troupeau de 500 brebis en fonction d'un taux de prolificité variant de 1,5 à 2,4 dans un système de production accéléré de trois agnelages en deux ans

	Prolificité ^z			
	1,5	1,8	2,1	2,4
Nb agneaux nés/brebis	1,87	2,24	2,62	2,99
Nb agneaux sevrés/brebis	1,69	1,98	2,25	2,50
Kg agneaux sevrés/brebis	32,15	36,32	40,21	43,81
Nb agneaux vendus/brebis	1,53	1,82	2,09	2,34
Kg agneaux vendus/brebis	64,02	72,92	82,50	90,18

^z Nombre d'agneaux nés par brebis par agnelage

Du côté des performances économiques, la hausse de la prolificité a d'abord eu comme effet d'augmenter les revenus provenant des ventes d'agneaux, faisant passer les revenus totaux de 228 à 325 \$/brebis (Tableau 3.9). Cependant, en calculant les revenus par agneau vendu, il y a au contraire une légère diminution des revenus totaux par agneau vendu (Figure 3.5). Ceux-ci passent d'environ 150 \$ à 139 \$ pour les scénarios 1,5 et 2,4, respectivement. Ceci s'explique par la stratégie de mise en marché qui doit être adaptée au taux de prolificité. Effectivement, à mesure que le nombre d'agneaux nés par brebis augmente, une proportion plus importante d'agneaux de lait est vendue au détriment des agneaux lourds. Cette sélection plus stricte pour le marché des agneaux lourds permet de maintenir constante la qualité de carcasse dans les quatre scénarios.

Tableau 3.9. Résultats économiques annuels d'une simulation d'un troupeau de 500 brebis en fonction d'un taux de prolificité variant de 1,5 à 2,4 dans un système accéléré de trois agnelages en deux ans

	Prolificité ^z							
	1,5		1,8		2,1		2,4	
	(\$)	(\$/brebis)	(\$)	(\$/brebis)	(\$)	(\$/brebis)	(\$)	(\$/brebis)
Produits								
Vente agneaux de lait	10 262	20,52	18 858	37,72	24 335	48,67	31 594	63,19
Vente agneaux légers	17 405	34,81	20 704	41,41	23 791	47,58	26 638	53,28
Vente agneaux lourds	80 747	161,49	85 563	171,13	94 119	188,24	98 402	196,80
Vente animaux de réforme	4 828	9,66	4 828	9,66	4 828	9,66	4 828	9,66
Vente de laine	907	1,81	907	1,81	907	1,81	907	1,81
Produits totaux	114 149	228,30	130 860	261,72	147 980	295,96	162 369	324,74
Charges variables								
Achats aliments – Reproducteurs	65 384	130,77	66 090	132,18	66 723	133,45	67 252	134,50
Achats aliments – Agneaux	32 753	65,51	36 453	72,91	41 313	82,63	45 492	90,98
Mise en marché	10 701	21,40	12 043	24,09	13 515	27,03	14 682	29,36
Échographie	1 764	3,53	1 764	3,53	1 764	3,53	1 764	3,53
Désaisonnement	2 379	4,76	2 379	4,76	2 379	4,76	2 379	4,76
Frais vétérinaires	2 430	4,86	2 430	4,86	2 430	4,86	2 430	4,86
Achat béliers	1 950	3,90	1 950	3,90	1 950	3,90	1 950	3,90
Tonte	2 369	4,74	2 369	4,74	2 369	4,74	2 369	4,74
Identification permanente	1 888	3,78	2 226	4,45	2 547	5,09	2 849	5,70
Litière (paille)	2 933	5,87	3 021	6,04	3 106	6,21	3 178	6,36
Temps de travail allaitement artificiel	0	0,00	438	0,88	1 074	2,15	1 917	3,83
Ajustement loyer ^y	0	0,00	933	1,87	1 832	3,66	2 627	5,25
Charges variables totales	124 551	249,10	132 096	264,19	141 002	282,00	148 889	297,78
Marge brute (avant charges fixes)	(10 402)	(20,80)	(1 236)	(2,47)	6 978	13,96	13 480	26,96

^z Nombre d'agneaux nés par brebis par agnelage

^y Un ajustement pour le loyer est considéré ici comme charge variable

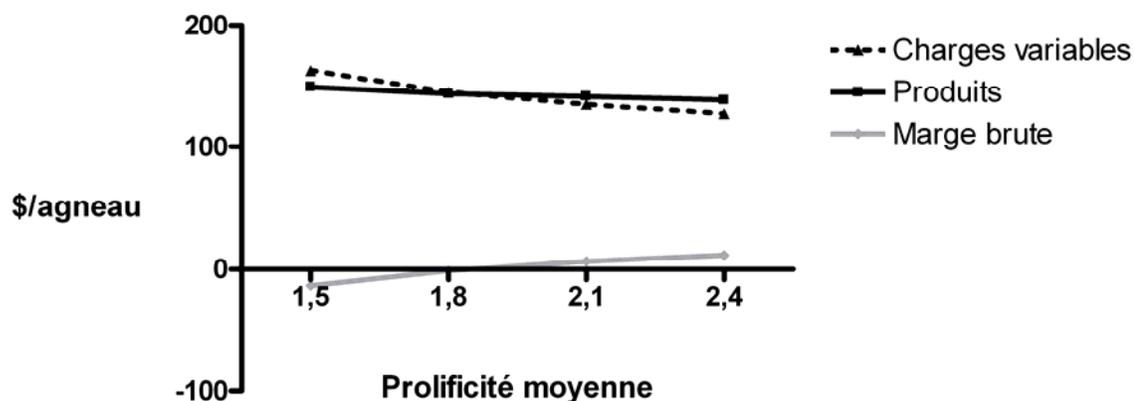


Figure 3.5. Produits, charges variables et marge brute par agneau vendu en fonction d'un taux de prolificité variant entre 1,5 et 2,4 agneaux nés par agnelage.

Du côté des charges variables (Tableau 3.9), une plus grande prolificité s'est traduite par une augmentation minimale des coûts d'alimentation des animaux reproducteurs (de 131 à 135 \$/brebis, pour les prolificités de 1,5 à 2,4 agneaux nés par agnelage, respectivement). Les différences entre les programmes alimentaires des brebis à basse et à haute prolificité se situent durant la suralimentation de fin de gestation et durant la lactation. Comme un maximum de deux agneaux était laissé avec leur mère durant la lactation, il n'y avait pas de brebis ni d'agnelle avec une ration de lactation pour l'allaitement de trois ou quatre agneaux. Cette politique de mise à l'allaitement artificiel systématique des agneaux surnuméraires a donc pour effet de minimiser les coûts d'alimentation supplémentaires pour les brebis plus prolifiques. La baisse des charges variables par agneau vendu (163 \$ à 127 \$, Figure 3.5) s'explique principalement par la répartition des charges liées aux femelles reproductrices sur un plus grand nombre d'agneaux.

Les coûts d'alimentation des agneaux n'ont pas augmenté autant, en proportion, que le nombre d'agneaux vendus (Tableau 3.9). Encore une fois, la plus grande proportion de vente d'agneaux de lait par rapport aux agneaux lourds explique cette différence puisque l'élevage d'un agneau lourd implique un coût d'alimentation plus de trois fois supérieur à celui d'un agneau de lait (données non présentées).

Avec un plus grand nombre d'agneaux nés et vendus, les frais d'identification permanente et de mise en marché ont augmenté avec la hausse de la prolificité. Les 76 m² de parquets supplémentaires (données non présentées) pour le troupeau à 2,4 agneaux nés par agnelage par rapport à celui à 1,5 ont entraîné une augmentation des charges de 2 627 \$.

Ainsi, dans nos conditions de simulation, l'augmentation de la prolificité de 1,5 à 2,4 agneaux nés par brebis par agnelage a permis d'augmenter les revenus de façon plus importante que la hausse des charges variables observée. La marge brute annuelle s'est alors trouvée améliorée de 23 882 \$. Pour la présente étude, les améliorations de marge brute se chiffrent à 18,33, 16,43 et 13,00 \$/brebis en passant de 1,68 à 1,97, 2,24 et 2,49 agneaux produits par brebis par année. Les améliorations de la marge brute obtenues sont de moins grande envergure que celles calculées par Berger et Thomas (2008) qui ont chiffré à environ 18 USD/brebis l'avantage de faire passer le nombre d'agneaux produits par brebis par année de 1,6 à 1,8 ainsi que de 1,8 à 2,0 dans le contexte de production du Wisconsin. Toutefois, les informations disponibles dans le document de Berger et Thomas (2008) ne permettent pas de savoir quels paramètres ont été ajustés pour les scénarios à plus haute prolificité. La prolificité moyenne permettant d'atteindre un équilibre entre les produits et les charges variables se situerait quelque part entre 1,8 et 2,1 (Figure 3.5). L'amélioration de la marge brute entre les scénarios 2,1 et 2,4 diffère du plateau observé par Conington *et al.* (2004) entre 1,34 et 1,46 agneau élevé par brebis. Toutefois, le contexte de production dans cette étude était considérablement différent avec, par exemple, un sevrage à 119 jours et des gains en postsevrage de 120 g/j.

Les faibles marges brutes dégagées même pour les prolificités les plus élevées illustrent à quel point il est difficile de rentabiliser un élevage ovin. Ces marges sont surtout trop minces pour combler les charges fixes et la rémunération des propriétaires. Les charges fixes varient grandement d'une entreprise à l'autre. Selon le modèle du coût de production 2006 établi par le Centre d'études sur les coûts de production en agriculture (CECPA, 2007), la moyenne des charges fixes des entreprises enquêtées était de 31 241 \$ en plus de 19 068 \$ en amortissements. Chez les producteurs québécois, l'assurance stabilisation des revenus agricoles (ASRA) permet évidemment d'améliorer le tableau. Cependant, il a été

décidé en début de projet de ne pas inclure les aides gouvernementales dans les calculs. Cette décision a été basée principalement sur la volonté de briser le lien entre les décisions de gestion des producteurs et les aides gouvernementales. De plus, l'ASRA étant présentement en pleine restructuration et même sujette à une deuxième vague de changements, il serait risqué de baser des recommandations en tenant compte de cette aide.

3.3.2. Analyse de sensibilité

Comme mentionné précédemment, les résultats présentés s'appliquent uniquement au contexte de production simulé. Il est pourtant intéressant d'évaluer comment se comporte la relation entre la prolificité et la marge brute du troupeau lorsqu'on fait varier certains autres paramètres de production.

En ralentissant le rythme d'agnelage avec des saillies aux neuf mois au lieu de huit, la marge brute est abaissée en moyenne de 4 635 \$ pour les quatre niveaux de prolificité (Figure 3.6). La différence de marge brute entre les hypothèses initiales et celles au rythme plus lent s'accroît à mesure que la prolificité augmente, passant de 3 038 à 6 122 \$. Ainsi, l'augmentation du nombre d'agneaux nés par agnelage serait plus bénéfique pour un système de production intensif avec agnelages aux huit mois que pour un système avec agnelages aux neuf mois. Les bénéfices d'une prolificité plus élevée se répètent alors plus souvent dans une période de temps donnée.

Faire passer le taux de fertilité moyen de 71,3 % à 61,3 % a eu sensiblement le même effet que l'allongement de l'intervalle entre les agnelages à 9 mois (Figure 3.6) avec une diminution moyenne de la marge de 6 455 \$. De l'autre côté, les hypothèses à haute fertilité (81,3 %) ont entraîné l'effet contraire : meilleures marges brutes que les hypothèses initiales (moyenne de 5 619 \$), l'écart étant plus important pour les hypothèses à hautes prolificités (de 4 661 à 6 476 \$).

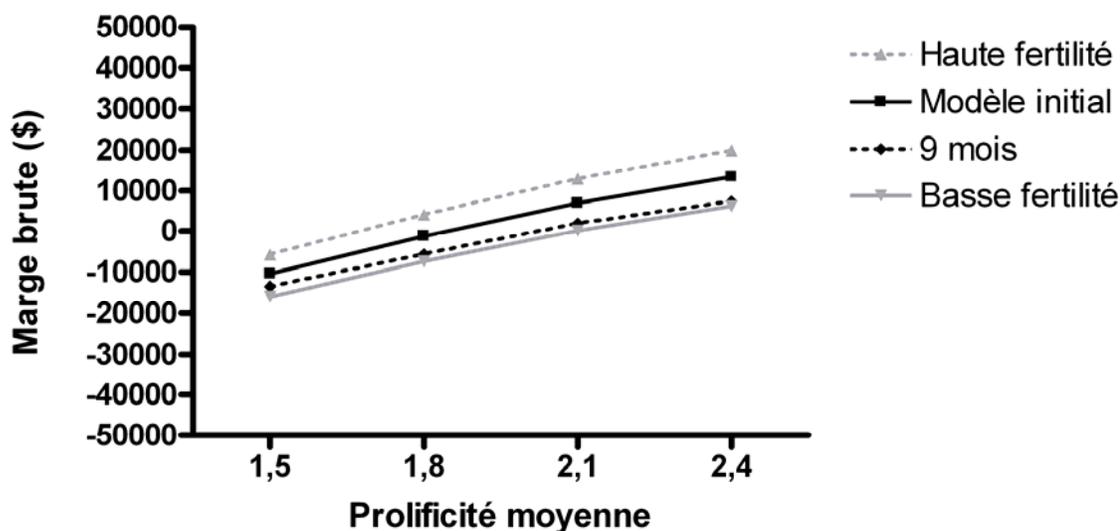


Figure 3.6. Sensibilité de l'effet de la prolificité sur la marge brute face à un rythme d'agnelage plus lent (9 mois) et à des taux de fertilité plus faibles et plus élevés.

Du côté de l'effet du taux de mortalité des agneaux, on constate que plus les taux de mortalité des agneaux sont élevés, moins l'avantage d'une amélioration de la prolificité moyenne est important (Figure 3.7). En effet, passer de 1,5 à 2,4 agneaux nés par agnelage a haussé la marge brute de 29 410 \$ pour le scénario à basse mortalité et de 18 889 \$ pour celui à haute mortalité alors que les taux de mortalité totaux des agneaux ont augmenté numériquement de 3,4 et 9,3 %. Ceci s'explique par le fait que pour l'analyse de sensibilité, la modification des taux de mortalité s'est faite en proportion de chacun des taux. Ainsi, l'augmentation numérique de la mortalité a été plus importante pour les scénarios dont les taux de mortalité étaient déjà plus élevés.

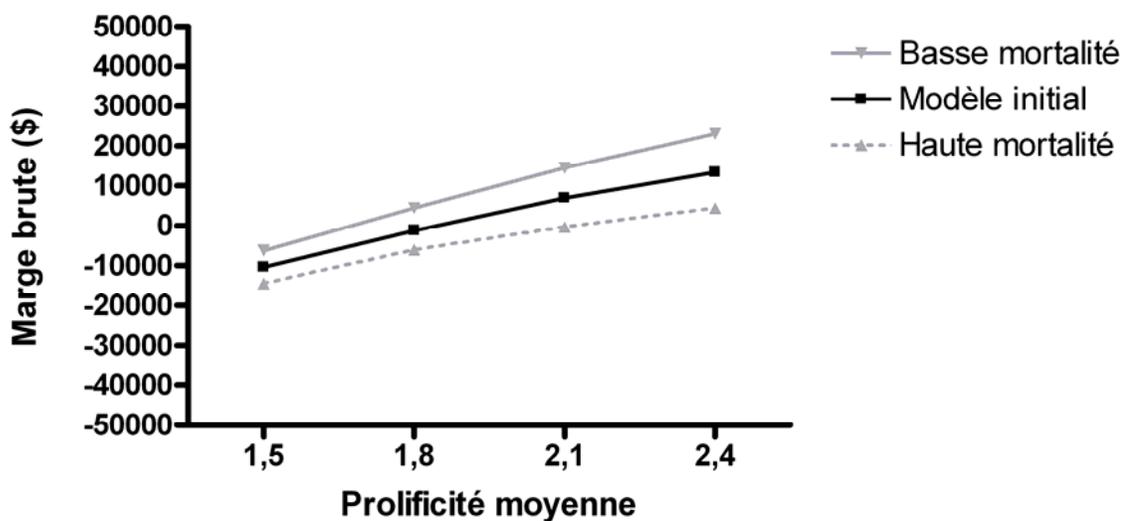


Figure 3.7. Sensibilité de l'effet de la prolificité sur la marge brute face aux taux de mortalité des agneaux.

Augmenter ou diminuer la vitesse de croissance des agneaux (-10 et +10 %) sans modifier les quantités d'aliments consommées par agneau par jour a très peu modifié la relation entre la prolificité et la marge brute (Figure 3.8). En fait, une croissance rapide rend chaque hypothèse plus profitable (4 359 \$ en moyenne) avec seulement un léger avantage pour les hypothèses à haute prolificité (de 3 844 à 4 839 \$). Le contraire est vrai pour une croissance plus lente (de 4 427 à 5 950 \$; moyenne de 5 203 \$).

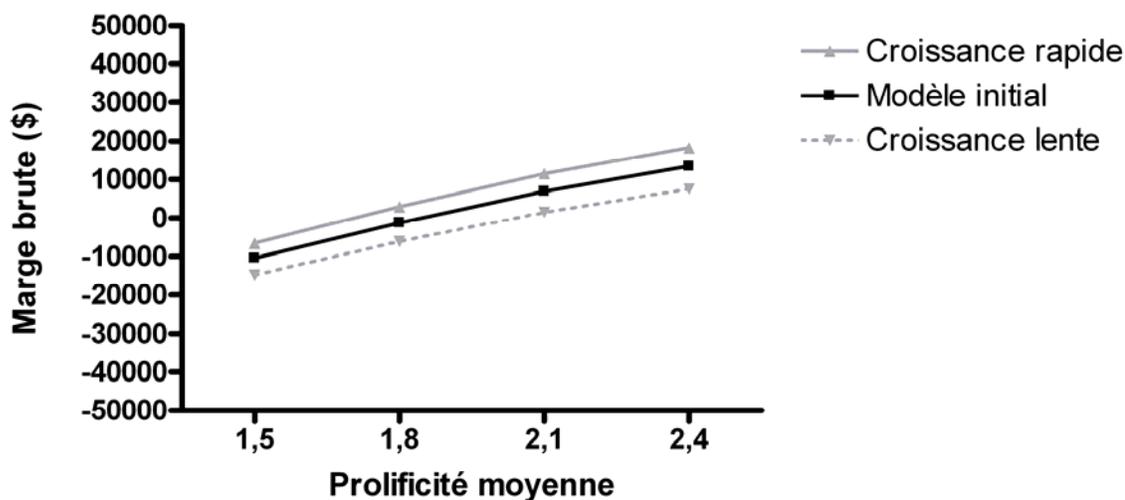


Figure 3.8. Sensibilité de l'effet de la prolificité sur la marge brute face à la vitesse de croissance des agneaux.

Lorsque les prix d'achat des aliments sont faibles ou que ceux de vente des animaux sont élevés, une augmentation de la prolificité devient encore plus intéressante (Figure 3.9). Pour ces deux contextes, passer d'une prolificité moyenne de 1,5 à 2,4 génère une amélioration de la marge brute de 28 249 et 31 136 \$, respectivement. Avec les prix d'achat des aliments élevés et ceux de vente des animaux faibles, l'amélioration a été de 19 487 et 16 627 \$, respectivement. Les écarts créés par les variations de prix des animaux sont plus marqués que ceux créés avec le prix des aliments puisque la vente des animaux représente la quasi-totalité des revenus tandis que plusieurs autres charges viennent s'ajouter aux frais d'alimentation.

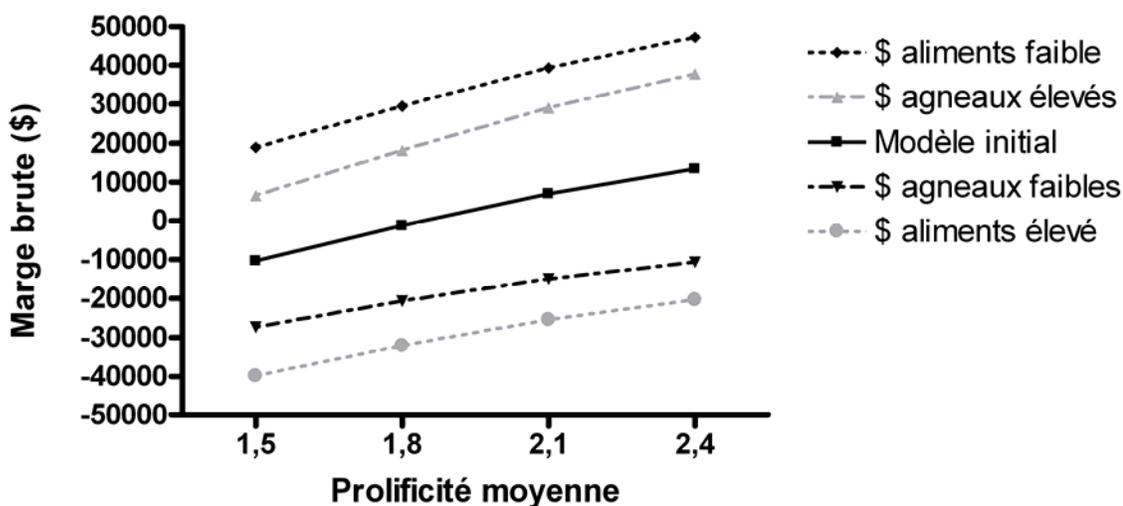


Figure 3.9. Sensibilité de l'effet de la prolificité sur la marge brute face aux prix d'achat des aliments et de vente des agneaux.

En résumé, par rapport à la situation initiale, les facteurs suivants ont permis d'amplifier l'avantage d'une augmentation de la prolificité : haute fertilité, basse mortalité des agneaux, croissance rapide des agneaux, prix des animaux élevés et faibles prix des aliments. Tandis que dans le modèle initial, l'amélioration de la marge brute entre les scénarios à 1,5 et 2,4 agneaux nés par agnelage était de 23 882 \$, celle pour les facteurs précédemment nommés a varié entre 24 876 et 31 136 \$. Parmi ceux-ci, les scénarios à haute fertilité et à croissance rapide ont entraîné les changements les moins marqués. Un rythme d'agnelage plus lent, une baisse des taux de fertilité des femelles reproductrices, des taux de mortalité des agneaux plus élevés, une croissance des agneaux plus lente, des prix des agneaux faibles et des prix des aliments élevés ont atténué l'avantage d'une amélioration des niveaux de prolificité. Pour ces facteurs, l'amélioration de la marge brute a varié entre 16 627 et 22 359 \$. Les scénarios à haute mortalité et à prix des agneaux faibles sont ceux qui ont le plus atténué l'avantage d'une hausse de la prolificité (18 889 et 16 627 \$, respectivement). Globalement par contre, aucune modification faite dans l'analyse de sensibilité n'a permis d'annuler l'avantage de faire passer le nombre d'agneaux nés par agnelage de 1,5 à 2,4.

3.4. CONCLUSIONS

Simulovins s'est avéré être un outil de simulation bien adapté à l'étude de l'impact d'un changement de prolificité sur les performances techniques et économiques de l'entreprise ovine, dans le contexte de production québécois (accouplements en contre-saison, réclusion totale, alimentation aux grains des agneaux...). Les simulations effectuées avec le logiciel ont montré que de faire passer la prolificité moyenne de 1,5 à 2,4 agneaux nés par agnelage permettait d'espérer une amélioration de la marge brute annuelle de près de 24 000 \$, et ce, même en tenant compte des aspects négatifs de l'augmentation de la taille de portée. Cette amélioration de la marge brute demeure présente à des niveaux de prolificité relativement élevés (2,1 à 2,4). Finalement, la relation entre la prolificité et la marge brute semble légèrement sensible aux changements de rythme d'agnelage, de fertilité, des taux de mortalité ou de croissance des agneaux ou même du prix des agneaux et des aliments. Tous les changements apportés à ces paramètres ont modifié les valeurs numériques de marge brute. Les modifications reliées aux prix des agneaux et des aliments ont entraîné les variations de marge brute les plus importantes (d'environ 17 000 à 38 000 \$). Pour les autres paramètres, les variations par rapport aux scénarios initiaux étaient de moindre envergure (environ 3 000 à 10 000 \$). Toutefois, aucun de ces changements n'est parvenu à annuler l'avantage de faire augmenter la prolificité moyenne d'un troupeau qui demeure donc une avenue profitable pour augmenter la rentabilité des élevages ovins dans le contexte de production du Québec. À la lumière des faibles marges brutes dégagées, et ce, même à des niveaux de prolificité élevés, il semble que la hausse du nombre d'agneaux nés par agnelage ne soit pas la solution unique aux problèmes de rentabilité de ces élevages.

3.5. REFERENCES

- Alliance Pastorale. 2007.** Normes pour bâtiments d'élevage pour ovin. [En ligne] Disponible: http://www.alliancepastorale.fr/IMG/pdf/Conseils_2007_Ovin.pdf. [9 octobre 2008].
- Amer, P. R., McEwan, J. C., Dodds, K. G. et Davis, G. H. 1999.** Economic values for ewe prolificacy and lamb survival in New Zealand sheep. *Livest. Prod. Sci.* **58**: 75-90.

- Bélangier, M.-A. et Potvin, R. 2000.** Planification et construction d'une installation d'élevage. Pages Feuillet 8.20 *dans* Guide production ovine. CRAAQ (éd.). Québec.
- Berger, Y. M. et Thomas, D. L. 2008.** Sheep production economics in 2008. Sheep Canada Magazine **23**: 23-28.
- Blanchin, J. Y. 2005.** Permettre de gagner en efficacité. Pâtre, **Mai 2005**: 26-27.
- Cameron, J. 2004.** De bons résultats avec l'allaitement artificiel ? Possible ? Ovin Québec, **4**: 14-17.
- CECPA. 2007.** Étude sur le coût de production des agneaux en 2006 au Québec, Lévis, Qc, 83 pp.
- CEPOQ. 2009.** Programme d'évaluation génétique à domicile GenOvis. La Pocatière, QC, Canada.
- Conington, J., Bishop, S. C., Waterhouse, A. et Simm, G. 2004.** A bioeconomic approach to derive economic values for pasture-based sheep genetic improvement programs. J. Anim. Sci. **82**: 1290-1304.
- CRAC. 1995.** Code de pratiques recommandées pour le soin et la manipulation des moutons. Conseil de recherches agro-alimentaires du Canada, Ottawa, Ontario, 41 pp.
- Demirören, E., Shrestha, J. N. B. et Boylan, W. J. 1995.** Breed and environmental effects on components of ewe productivity in terms of multiple births, artificial rearing and 8-month breeding cycles. Small Ruminant Res. **16**: 239-249.
- Fisher, J. W. 2001.** An economic comparison of production systems for sheep. Can. J. Agric. Econ. **49**: 327-336.
- FPAMQ. 2010.** Agence de vente - Agneau lourd : Guide du producteur, Longueuil, QC, 15 pp.
- Gallo, C. B. et Davies, D. A. R. 1988.** Rearing twin and triplet lambs on the ewe. Anim. Prod. **47**: 111-121.
- Gardner, D. S., Buttery, P. J., Daniel, Z. et Symonds, M. E. 2007.** Factors affecting birth weight in sheep: maternal environment. Reproduction **133**: 297-307.
- Gootwine, E. 2005.** Variability in the rate of decline in birth weight as litter size increases in sheep. Anim. Sci. **81**: 393-398.
- Gorrill, A. D. L., Brisson, G. J., Emmons, D. B. et St-Laurent, G. J. 1990.** Élevage artificiel des agneaux, Agriculture Canada Publication, 1507/F, Ottawa, ON, 30 pp.

- Heaney, D. P., Shrestha, J. N. B. et Peters, H. F. 1982a.** Performance of lambs fed milk replacers having two levels of fat. *Can. J. Anim. Sci.* **62**: 837-843.
- Heaney, D. P., Shrestha, J. N. B. et Peters, H. F. 1982b.** Potential alternatives to lamb milk replacer for the artificial rearing of lambs. *Can. J. Anim. Sci.* **62**: 1135-1142.
- Heaney, D. P., Shrestha, J. N. B. et Peters, H. F. 1982c.** Rapeseed oil versus coconut oil as a source of fat for lamb milk replacers. *Can. J. Anim. Sci.* **62**: 1241-1243.
- Hirning, H. J., Faller, T. C., Hoppe, K. J., Nudell, D. J. et Ricketts, G. E. 1994.** Sheep housing and equipment handbook. MWSPPS-3, Ames, IA, 96 pp.
- Houdoy, D. 1995.** L'ambiance dans les bergeries. *Pâtre, Mars 1995*: 21-22.
- Lemelin, M. 2007.** Estimé des coûts fixes d'une bergerie pour l'engraissement d'agneaux lourds, MAPAQ, Nicolet, QC, 2 pp.
- Morel, P. C. H. et Kenyon, P. R. 2006.** Sensitivity analysis of weaner lamb production in New Zealand. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* **66**: 377-381.
- Morgan, J. E., Fogarty, N. M., Nielsen, S. et Gilmour, A. R. 2007.** The relationship of lamb growth from birth to weaning and the milk production of their primiparous crossbred dams. *Aust. J. Exp. Agric.* **47**: 899-904.
- Notter, D. R. et Copenhaver, J. S. 1980.** Performance of Finnish Landrace crossbred ewes under accelerated lambing. II. Lamb growth and survival. *J. Anim. Sci.* **51**: 1043-1050.
- NRC. 1985.** Nutrient requirements of sheep. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC. 2006.** Nutrients requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and New World camelids. National Academic Press, Washington, DC.
- Olesen, I., Svendsen, M., Klemetsdal, G. et Steine, T. A. 1995.** Application of a multiple-trait animal model for genetic evaluation of maternal and lamb traits in Norwegian sheep. *Anim. Sci.* **60**: 457-469.
- Quinton, V. M., Wilton, J. W., Robinson, J. A. et Mathur, P. K. 2006.** Economic weights for sow productivity traits in nucleus pig populations. *Livest. Sci.* **99**: 69-77.
- Roy, A., Laforest, J. P., Castonguay, F. et Brisson, G. J. 1999.** Effects of maturity of silage and protein content of concentrates on milk production of ewes rearing twin or triplets lambs. *Can. J. Anim. Sci.* **79**: 499-508.

- Shrestha, J. N. B. et Heaney, D. P. 2003.** Review of Canadian, Outaouais and Rideau Arcott breeds of sheep: 1. Development and characterization. *Small Ruminant Res.* **49**: 79-96.
- Shrestha, J. N. B., Heaney, D. P. et Parker, R. J. 1992.** Productivity of three synthetic Arcott sheep breeds and their crosses in terms of 8-mo breeding cycle and artificially reared lambs. *Small Ruminant Res.* **9**: 283-296.
- Wang, C. T. et Dickerson, G. E. 1991.** Simulation of life-cycle efficiency of lamb and wool production for genetic levels of component traits and alternative management options. *J. Anim. Sci.* **69**: 4324-4337.
- Wheaton, J. E., Carlson, K. M., Windels, H. F. et Johnston, L. J. 1993.** CIDR: A new progesterone-releasing intravaginal device for induction of estrus and cycle control in sheep and goats. *Anim. Reprod. Sci.* **33**: 127-141.
- White, D. H. 1984.** Economic values of changing reproductive rates. Pages 371-377 *dans* *Reproduction in sheep*. D. R. Lindsay and D. T. Pearce (éds.). Australian academy of science, Canberra, AU.

CHAPITRE 4. DISCUSSION GÉNÉRALE

La conception d'un outil de simulation exige une multitude de compromis. Effectivement, il serait farfelu de penser qu'un seul modèle permette d'élucider l'ensemble des questions portant sur un système de production. La présente section expose donc les principaux compromis qui ont dû être faits autant en ce qui a trait à la conception du logiciel de simulation que pour les données d'entrée des scénarios.

D'abord, il a fallu déterminer si la simulation développée devait gérer les animaux en groupes d'animaux semblables ou en tant qu'individus. Même si la gestion des animaux par groupes est adéquate pour la simulation d'un troupeau ovin, cette façon de faire rend l'approche stochastique très difficile. Ce type d'approche aurait permis d'introduire les notions d'incertitude et de variabilité. Ainsi, il aurait été possible d'apprécier l'étendue des résultats attendus et même de faire des analyses statistiques afin d'évaluer la significativité des différences observées. D'un autre côté, le modèle déterministe a largement permis de répondre à la question initiale, surtout que l'analyse de sensibilité a montré que la relation entre la prolificité et la marge brute n'était pas très sensible aux paramètres testés. Aussi, il n'est pas suffisant de bâtir un modèle stochastique, encore faut-il combler les matrices de probabilités avec des données fiables. Avec un modèle de système de production comme « Simulovins », il devient vite ardu de qualifier le grand nombre de distributions des variables ainsi que leurs relations. Très souvent, les données nécessaires ne sont tout simplement pas disponibles.

Une autre limite de la gestion des animaux par groupes est qu'elle ne permet pas d'étudier l'effet de l'âge des sujets reproducteurs. Effectivement, une gestion individuelle aurait permis d'ajuster les performances des femelles reproductrices en fonction de leur âge. C'est pour pallier partiellement cette lacune que les femelles reproductrices ont été divisées en deux classes (agnelles et brebis adultes) avec leurs performances respectives. Aussi, comme les comparaisons entre les scénarios à différents niveaux de prolificité n'impliquaient pas

de variation des taux de mortalité ou de réforme des animaux reproducteurs, considérer leur âge n'aurait pas influencé les conclusions.

Un autre point à rappeler est que « Simulovins » ne prend pas en compte les charges fixes. Pour le présent projet, l'intérêt résidait dans les valeurs relatives des marges brutes des différents scénarios et non dans l'analyse de leur valeur absolue. Aussi, certaines charges normalement considérées comme fixes ont été ajoutées au calcul puisqu'elles possédaient une composante variable. De plus, au besoin, rien n'empêche d'utiliser les données issues de la simulation pour les compléter avec les charges fixes et ainsi permettre d'autres analyses comme le calcul du prix à l'équilibre (seuil de rentabilité).

Malgré tous les efforts mis pour s'assurer de la qualité de construction de la simulation, des erreurs peuvent subsister. À mesure que « Simulovins » sera utilisé, ces erreurs pourront être identifiées et corrigées. C'est lors de son application qu'on gagne graduellement confiance en un modèle.

L'exercice de simulation a rapidement permis d'identifier des « boîtes noires ». C'est-à-dire des relations difficilement quantifiables où les informations disponibles étaient plus laborieuses, voire impossibles à obtenir. D'abord, l'introduction de races ou croisements prolifiques s'avère être un moyen très efficace pour améliorer la prolificité moyenne d'un élevage. La sélection intra-race pourrait être une avenue intéressante, mais avec des valeurs d'héritabilité généralement en dessous de 0,20, il faut oublier les progressions de grande envergure, surtout à court et moyen terme. Pour le présent travail, il a été décidé de travailler avec une seule race hypothétique en faisant varier sa prolificité moyenne. Un désavantage à fonctionner de cette façon était de ne pas tenir compte de la stratégie à suivre la plus réaliste pour passer de 1,5 à 1,8, puis à 2,1 et 2,4 agneaux nés par agnelage, soit l'utilisation de races et croisements différents. Par exemple, il aurait été possible d'utiliser les données des races Dorset, Polypay, F1 (Romanov X Dorset et Dorset X Romanov) et des Arcott Rideau pour simuler les différents niveaux de prolificité du projet. Cependant, les grandes différences existant entre ces races et croisements ne relèvent certainement pas

toutes de leurs prolificités moyennes propres. Comme l'objectif était d'évaluer l'effet de la prolificité, il était nécessaire d'éliminer l'effet de la race ou du croisement des femelles reproductrices. Le système de production simulé comprenait donc des femelles de type maternel destinées à être accouplées avec des béliers de type paternel afin de produire des agneaux de marché. Pour mimer une tendance de l'industrie ovine québécoise, une partie des femelles reproductrices a été mise à l'accouplement avec des béliers de type maternel dans le but de produire des femelles de remplacement. Il fallait donc entrer des performances aux agneaux de race maternelle et de croisement terminal. Toutefois, les données concernant les croisements terminaux sont beaucoup moins abondantes que celles en race pure. Effectivement, pour les performances des agneaux, notre principale source d'information était la base de données du programme d'évaluation génétique GenOvis. De par sa nature, cette base de données contient très peu d'entrées d'agneaux qui ne sont pas en race pure. Ainsi, nous avons été contraints à mettre en parallèle les chiffres des agneaux de race pure maternelle avec ceux en race pure paternelle. Les poids à la naissance et taux de croissance ont donc été calculés en faisant la moyenne des performances des parents. La décision d'ignorer l'effet d'hétéroze a été prise puisque lorsqu'une valeur d'hétéroze est calculée, c'est la moyenne des performances des deux croisements possibles avec deux races de parents (mâle A x femelle B et mâle B x femelle A) qui est comparée à la moyenne des parents. Dans certains cas, par exemple, le poids à la naissance d'un croisement « mâle A x femelle B » peut être inférieur à la moyenne des deux parents. Il serait donc hasardeux d'appliquer aveuglément les valeurs d'hétéroze de la littérature aux agneaux de la simulation qui sont, eux, toujours issus des mères d'une même race. De plus, seuls les jumeaux ont été utilisés pour calculer la moyenne des poids à la naissance et des taux de croissance des agneaux maternels et paternels puisque les agneaux nés doubles étaient les plus représentés. On évitait ainsi les distorsions des valeurs des rares agneaux paternels issus de portées de grandes tailles (trois et quatre agneaux).

La relation entre la taille de portée et la classification des carcasses est un autre aspect peu documenté. Comme mentionné à la section 3.2.2.1, ce sont les proportions d'agneaux vendus en agneaux lourds et agneaux de lait qui ont été ajustées afin de conserver des rendements carcasse et des indices de classification identiques entre les types de naissance.

Bien sûr, le travail effectué lors du présent projet est une étape importante dans l'identification des paramètres de rentabilité des élevages ovins québécois. Toutefois, il ne s'agit pas d'une fin en soi. Il est dans les plans de l'équipe de raffiner le logiciel, de travailler à mieux définir les relations entre certains paramètres et à préciser les données de production mal documentées. La prolificité n'était que le premier paramètre de production étudié. Plusieurs autres sont dignes d'intérêt comme la taille du troupeau, les performances de reproduction (taux de fertilité et prolificité en saison et contre-saison sexuelle), le type d'agneaux produits (lourd ou lait), les coûts d'alimentation, les méthodes de désaisonnement utilisées en contre-saison sexuelle, la variation des frais d'opération, la mortalité des agneaux, la variation des prix des agneaux dans l'année, la qualité des agneaux produits (classement), la régularité de production, etc. Les possibilités sont énormes puisque l'objectif ultime est d'identifier les aspects de la production ayant de grands potentiels d'amélioration de la rentabilité.

Les résultats des analyses futures serviront à orienter l'avenir de l'industrie ovine vers un modèle de production rentable. Ils aideront à avoir une idée juste des priorités de recherche et des changements technologiques vers lesquels cette industrie doit s'orienter pour assurer sa pérennité et son développement. Les résultats de l'étude mèneront assurément à la mise en place de nouveaux projets de recherche sur le terrain pour préciser les relations existantes entre certains paramètres. Les prochaines années permettront donc de bonifier « Simulovins » et de multiplier les analyses qui auront certes un grand impact sur l'industrie ovine tant au Québec qu'à l'étranger.

Annexe A.

Tableau A.1. Quantité quotidienne d'aliments ingérés (kg/j) par femelle selon le stade de production

	Entretien	Flushing - Saillie	Gestation	Fin de gestation ^z				Lactation ^y	
				1,5	1,8	2,1	2,4	1	2
Brebis									
Ensilage ^x	1,58	1,85	1,85	1,72	1,74	1,74	1,74	2,38	2,64
Maïs ^w	-	0,50	-	0,50	0,61	0,75	0,89	1,00	1,00
Soya ^v	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agnelle									
Ensilage	1,45	1,45	1,45	1,21	1,22	1,22	1,22	2,53	2,64
Maïs	0,30	0,30	0,30	0,80	0,78	0,77	0,73	0,80	0,90
Soya	-	-	-	-	-	0,01	0,05	-	-

^z Nombre moyen d'agneaux nés par agnelage (prolificité)

^y Nombre d'agneaux allaités

^x Ensilage de graminées : 2,10 Mcal/kg EM et 15,1 % PB

^w Maïs grain : 3,16 Mcal/kg EM et 10,1 % PB

^v Tourteau de soya : 3,10 Mcal/kg EM et 54,0 % PB

Tableau A.2. Quantité quotidienne d'aliments ingérée (kg/j) par bélier selon le génotype

	Entretien	Saillie
Maternel		
Ensilage ^z	2,1	1,85
Maïs ^y	-	0,50
Paternel		
Ensilage	2,3	2,03
Maïs	-	0,55

^z Ensilage de graminées : 2,10 Mcal/kg EM et 15,1 % PB

^y Maïs grain : 3,16 Mcal/kg EM et 10,1 % PB

Tableau A.3. Quantité quotidienne d'aliments ingérée (kg/j) par agneau en allaitement naturel durant la période présevrage (1-50j) selon le croisement, le sexe et le type de naissance

	Simple	Double	Triple	Quad. et +
Croisement maternel				
<i>Mâle</i>				
Ensilage ^z	0,047	0,039	0,036	0,035
Concentré « début » ^y	0,268	0,223	0,205	0,198
<i>Femelle</i>				
Ensilage	0,044	0,037	0,034	0,032
Concentré « début »	0,250	0,211	0,196	0,183
Croisement terminal				
<i>Mâle</i>				
Ensilage	0,049	0,041	0,037	0,036
Concentré « début »	0,280	0,233	0,213	0,206
<i>Femelle</i>				
Ensilage	0,046	0,039	0,036	0,033
Concentré « début »	0,261	0,221	0,204	0,191

^z Ensilage de graminées : 2,10 Mcal/kg EM et 15,1 % PB

^y Concentré commercial pour agneaux, 18 % PB

Tableau A.4. Quantité quotidienne d'aliments ingérée (kg/j) par agneau en allaitement artificiel durant la période présevrage (1-50 j) selon le croisement, le sexe et le taux de prolificité moyen

	Naissance-sevrage (1-30 j)				Transition (31-50 j)			
	1,5	1,8	2,1	2,4	1,5	1,8	2,1	2,4
Croisement maternel								
<i>Mâle</i>								
Ensilage ^z	0,029	0,027	0,026	0,026	0,113	0,108	0,105	0,104
Concentré « début » ^y	0,165	0,156	0,149	0,146	0,645	0,619	0,602	0,597
Poudre de lait ^x	0,296	0,284	0,281	0,280	-	-	-	-
<i>Femelle</i>								
Ensilage	0,028	0,026	0,025	0,024	0,107	0,103	0,101	0,099
Concentré « début »	0,158	0,149	0,143	0,139	0,615	0,589	0,575	0,564
Poudre de lait	0,284	0,273	0,268	0,266	-	-	-	-
Croisement terminal								
<i>Mâle</i>								
Ensilage	0,030	0,028	0,027	0,026	0,117	0,112	0,110	0,108
Concentré « début »	0,172	0,161	0,156	0,151	0,673	0,644	0,630	0,620
Poudre de lait	0,307	0,297	0,292	0,291	-	-	-	-
<i>Femelle</i>								
Ensilage	0,029	0,027	0,026	0,025	0,112	0,107	0,105	0,103
Concentré « début »	0,164	0,154	0,149	0,144	0,641	0,613	0,599	0,587
Poudre de lait	0,295	0,285	0,281	0,281	-	-	-	-

^z Ensilage de graminées : 2,10 Mcal/kg EM et 15,1 % PB

^y Concentré commercial pour agneaux, 18 % PB

^x Lactoreplaceur pour agneaux

Tableau A.5. Quantité quotidienne d'aliments ingérée (kg/j) par agneau de lait issu de l'allaitement naturel durant la période postsevrage (51 j-abattage) selon le croisement, le sexe et le type de naissance

	51-71 j				72 j-Abattage			
	Simple	Double	Triple	Quad. et +	Simple	Double	Triple	Quad. et +
Maternel								
<i>Mâle</i>								
Ensilage ^z	0,170	0,156	0,151	0,150	0,177	0,177	0,177	0,177
Concentré « début » ^y	0,972	0,891	0,864	0,860	-	-	-	-
Concentré « croissance » ^x	-	-	-	-	1,015	1,015	1,012	1,012
<i>Femelle</i>								
Ensilage	0,164	0,148	0,142	0,137	0,177	0,174	0,171	0,169
Concentré « début »	0,938	0,850	0,813	0,785	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,015	0,994	0,976	0,966
Croisement terminal								
<i>Mâle</i>								
Ensilage	0,173	0,159	0,154	0,153	0,177	0,177	0,177	0,177
Concentré « début »	0,992	0,908	0,883	0,877	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,015	1,015	1,015	1,015
<i>Femelle</i>								
Ensilage	0,167	0,155	0,150	0,146	0,177	0,177	0,177	0,175
Concentré « début »	0,958	0,888	0,861	0,835	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,015	1,015	1,010	1,002

^z Ensilage de graminées : 2,10 Mcal/kg EM et 15,1 % PB

^y Concentré commercial pour agneaux, 18 % PB

^x Concentré commercial pour agneaux, 16 % PB

Tableau A.6. Quantité quotidienne d'aliments ingérée (kg/j) par agneau de lait issu de l'allaitement artificiel durant la période postsevrage selon le croisement, le sexe et le taux de prolificité moyen

	51-71 j				72 j-Abattage			
	1,5	1,8	2,1	2,4	1,5	1,8	2,1	2,4
Maternel								
<i>Mâle</i>								
Ensilage ^z	0,156	0,154	0,152	0,152	0,177	0,177	0,177	0,177
Concentré « début » ^y	0,893	0,880	0,872	0,868	-	-	-	-
Concentré « croissance » ^x	-	-	-	-	1,015	1,015	1,015	1,014
<i>Femelle</i>								
Ensilage	0,150	0,146	0,143	0,141	0,175	0,173	0,171	0,170
Concentré « début »	0,860	0,834	0,820	0,809	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,000	0,987	0,981	0,975
Croisement terminal								
<i>Mâle</i>								
Ensilage	0,159	0,156	0,155	0,154	0,177	0,177	0,177	0,177
Concentré « début »	0,910	0,896	0,889	0,884	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,015	1,015	1,015	1,015
<i>Femelle</i>								
Ensilage	0,155	0,153	0,152	0,150	0,177	0,177	0,177	0,176
Concentré « début »	0,890	0,876	0,869	0,858	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,015	1,015	1,015	1,010

^z Ensilage de graminées : 2,10 Mcal/kg EM et 15,1 % PB

^y Concentré commercial pour agneaux, 18 % PB

^x Concentré commercial pour agneaux, 16 % PB

Tableau A.7. Quantité quotidienne d'aliments ingérée (kg/j) par agneau léger issu de l'allaitement naturel durant la période postsevrage selon le croisement, le sexe et le type de naissance

	51-71 j				72 j-Abattage			
	Simple	Double	Triple	Quad. et +	Simple	Double	Triple	Quad. et +
Maternel								
<i>Mâle</i>								
Ensilage ^z	0,187	0,159	0,151	0,150	0,223	0,209	0,206	0,177
Concentré « début » ^y	1,069	0,908	0,864	0,860	-	-	-	-
Concentré « croissance » ^x	-	-	-	-	1,278	1,197	1,177	1,012
<i>Femelle</i>								
Ensilage	0,171	0,148	0,142	0,137	0,214	0,203	0,199	0,169
Concentré « début »	0,981	0,850	0,813	0,785	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,223	1,160	1,142	0,966
Croisement terminal								
<i>Mâle</i>								
Ensilage	0,198	0,169	0,160	0,160	0,231	0,216	0,212	0,177
Concentré « début »	1,133	0,965	0,918	0,914	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,321	1,237	1,216	1,015
<i>Femelle</i>								
Ensilage	0,182	0,158	0,150	0,146	0,220	0,209	0,205	0,175
Concentré « début »	1,039	0,905	0,861	0,835	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,262	1,197	1,176	1,002

^z Ensilage de graminées : 2,10 Mcal/kg EM et 15,1 % PB

^y Concentré commercial pour agneaux, 18 % PB

^x Concentré commercial pour agneaux, 16 % PB

Tableau A.8. Quantité quotidienne d'aliments ingérée (kg/j) par agneau léger issu de l'allaitement artificiel durant la période postsevrage selon le croisement, le sexe et le taux de prolificité moyen

	51-71 j				72 j-Abattage			
	1,5	1,8	2,1	2,4	1,5	1,8	2,1	2,4
Maternel								
<i>Mâle</i>								
Ensilage ^z	0,160	0,156	0,153	0,152	0,210	0,208	0,207	0,206
Concentré « début » ^y	0,916	0,891	0,874	0,868	-	-	-	-
Concentré « croissance » ^x	-	-	-	-	1,203	1,190	1,182	1,179
<i>Femelle</i>								
Ensilage	0,150	0,146	0,143	0,141	0,204	0,201	0,200	0,199
Concentré « début »	0,860	0,834	0,820	0,809	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,166	1,153	1,146	1,141
Croisement terminal								
<i>Mâle</i>								
Ensilage	0,170	0,165	0,163	0,161	0,217	0,215	0,214	0,213
Concentré « début »	0,973	0,945	0,931	0,921	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,244	1,229	1,222	1,217
<i>Femelle</i>								
Ensilage	0,159	0,154	0,152	0,150	0,210	0,208	0,206	0,205
Concentré « début »	0,912	0,884	0,870	0,858	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,202	1,189	1,182	1,176

^z Ensilage de graminées : 2,10 Mcal/kg EM et 15,1 % PB

^y Concentré commercial pour agneaux, 18 % PB

^x Concentré commercial pour agneaux, 16 % PB

Tableau A.9. Quantité quotidienne d'aliments ingérée (kg/j) par agneau lourd issu de l'allaitement naturel durant la période postsevrage selon le croisement, le sexe et le type de naissance

	51-71 j				72 j-Abattage			
	Simple	Double	Triple	Quad. et +	Simple	Double	Triple	Quad. et +
Maternel								
<i>Mâle</i>								
Ensilage ^z	0,187	0,159	0,151	0,150	0,290	0,276	0,273	0,290
Concentré « début » ^y	1,069	0,908	0,864	0,860	-	-	-	-
Concentré « croissance » ^x	-	-	-	-	1,663	1,582	1,562	1,663
<i>Femelle</i>								
Ensilage	0,171	0,148	0,142	0,137	0,262	0,251	0,248	0,262
Concentré « début »	0,981	0,850	0,813	0,785	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,500	1,437	1,419	1,500
Croisement terminal								
<i>Mâle</i>								
Ensilage	0,198	0,169	0,160	0,160	0,309	0,295	0,291	0,309
Concentré « début »	1,133	0,965	0,918	0,914	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,771	1,687	1,665	1,771
<i>Femelle</i>								
Ensilage	0,182	0,158	0,150	0,146	0,280	0,269	0,265	0,280
Concentré « début »	1,039	0,905	0,861	0,835	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,603	1,539	1,518	1,603

^z Ensilage de graminées : 2,10 Mcal/kg EM et 15,1 % PB

^y Concentré commercial pour agneaux, 18 % PB

^x Concentré commercial pour agneaux, 16 % PB

Tableau A.10. Quantité quotidienne d'aliments ingérée (kg/j) par agneau lourd issu de l'allaitement artificiel durant la période postsevrage selon le croisement, le sexe et le taux de prolificité moyen

	51-71 j				72 j-Abattage			
	1,5	1,8	2,1	2,4	1,5	1,8	2,1	2,4
Maternel								
<i>Mâle</i>								
Ensilage ^z	0,160	0,156	0,153	0,152	0,277	0,275	0,274	0,273
Concentré « début » ^y	0,916	0,891	0,874	0,868	-	-	-	-
Concentré « croissance » ^x	-	-	-	-	1,588	1,575	1,567	1,564
<i>Femelle</i>								
Ensilage	0,150	0,146	0,143	0,141	0,252	0,250	0,249	0,248
Concentré « début »	0,860	0,834	0,820	0,809	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,443	1,430	1,424	1,418
Croisement terminal								
<i>Mâle</i>								
Ensilage	0,170	0,165	0,163	0,161	0,296	0,293	0,292	0,291
Concentré « début »	0,973	0,945	0,931	0,921	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,693	1,679	1,672	1,667
<i>Femelle</i>								
Ensilage	0,159	0,154	0,152	0,150	0,270	0,267	0,266	0,265
Concentré « début »	0,912	0,884	0,870	0,858	-	-	-	-
Concentré « croissance »	-	-	-	-	1,544	1,530	1,524	1,517

^z Ensilage de graminées : 2,10 Mcal/kg EM et 15,1 % PB

^y Concentré commercial pour agneaux, 18 % PB

^x Concentré commercial pour agneaux, 16 % PB

Tableau A.11. Quantité quotidienne d'aliments ingérée (kg/j) par agnelle de remplacement durant la période postsevrage (51 j-1^{ère} saillie)

	51-71 j	72-120 j	121 j-1 ^{ère} saillie
Ensilage ^z	0,150	0,200	1,170
Concentré « début » ^y	0,850	-	-
Concentré « croissance » ^x	-	1,160	-
Maïs	-	-	0,390

^z Ensilage de graminées : 2,10 Mcal/kg EM et 15,1 % PB

^y Concentré commercial pour agneaux, 18 % PB

^x Concentré commercial pour agneaux, 16 % PB