

ÉVALUATION DU POTENTIEL FROMAGER DE LA POPULATION DE BOVINS DE RACE CANADIENNE DE CHARLEVOIX PAR L'ANALYSE DE LA FRÉQUENCE DE L'ALLÈLE B DU GÈNE DE LA K-CASÉINE

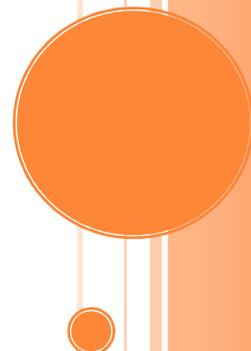
RAPPORT DE PROJET

Mario Duchesne¹, Diane Allard² et Florian Rochefort³

- 1 Biologiste, MSc. **Association de mise en valeur des bovins de race Canadienne dans Charlevoix.**
Correspondance : 344, route 138 Saint-Hilarion (Québec) G0A 3V0 Courriel : franc-nord@hotmail.com
- 2 Agronome, MSc. **Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ).**
Direction régionale de la Capitale-Nationale. Correspondance : 1685, boul. Wilfrid-Hamel Ouest, R.C. 22, Québec
(Québec) G1N 3Y7 Courriel : Diane.Allard@mapaq.gouv.qc.ca
- 3 Agronome. **Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ).** Direction
régionale de la Capitale-Nationale. Centre de services de Saint-Hilarion. Correspondance : 344 route 138, Saint-
Hilarion, Québec G0A 3V0 Courriel : Florian.Rochefort@mapaq.gouv.qc.ca

**ASSOCIATION DE MISE EN VALEUR DES BOVINS DE
RACE CANADIENNE**

25 juin 2008



ÉVALUATION DU POTENTIEL FROMAGER DE LA POPULATION DE BOVINS DE RACE CANADIENNE DE CHARLEVOIX PAR L'ANALYSE DE LA FRÉQUENCE DE L'ALLÈLE B DU GÈNE DE LA K-CASÉINE

RAPPORT DE PROJET

Table des matières

RÉSUMÉ	2
INTRODUCTION	3
MATÉRIEL ET MÉTHODES	5
Population étudiée.....	5
Aire d'étude.....	5
Méthodes.....	5
Échantillonnage	5
Tests en laboratoire	6
Analyses des données.....	6
États financiers	6
RÉSULTATS	7
DISCUSSION	11
CONCLUSION	13
RÉFÉRENCES	14
REMERCIEMENTS	15

RÉSUMÉ

Les bovins de race Canadienne de Charlevoix ont été évalués pour la fréquence des allèles et des génotypes de la K-caséine et de la β -Lactoglobuline afin de déterminer le potentiel fromager de cette population. En raison du fait que le lait de cette population est destiné à plus de 95% pour la transformation fromagère, il est pertinent d'obtenir un portrait de la fréquence de la variante B des gènes de la K-caséine et de la β -Lactoglobuline. Les génotypes AB, BE et BB du gène de la K-caséine ont une fréquence de 19.09%, 1.82% et 2.73% respectivement chez les femelles. L'allèle B du gène de la K-caséine a une fréquence de 13.18%. La fréquence des génotypes AB, BE et BB de la K-caséine varie selon le profil génétique. Les femelles pur-sang et croisées ont une fréquence de l'allèle B de 16.2% et de 23.6% respectivement. Pour la β -Lactoglobuline, les femelles portent le génotype AB dans une proportion de 50%. Le profil génétique n'influence pas la fréquence des génotypes de la β -Lactoglobuline chez les femelles. Les quatorze taureaux testés sont pur-sang avec un pourcentage de pureté d'au moins 96,88%. Trois taureaux sont hétérozygotes AB ou BE et aucun taureau n'est homozygote BB. La fréquence des génotypes AB et BE est de 14.3% et 7.1% respectivement. L'allèle B du gène de la K-caséine a une fréquence de 14.3%. Pour sa part, l'allèle E a une fréquence de 7.1%. Pour la β -Lactoglobuline, nous observons une hétérozygoté de 50%. L'allèle B du gène de la β -Lactoglobuline a une fréquence de 32.1%. Ces résultats semblent démontrer que l'incidence de l'allèle B du gène de la K-caséine au sein de la population de bovins de race Canadienne est très faible en comparaison avec plusieurs autres races laitières destinées à la production d'un lait fromager. Une sélection qui favorise l'allèle B du gène de la K-caséine est nécessaire pour permettre d'améliorer les aptitudes fromagères de cette population.

Mots clés : K-caséine, β -Lactoglobuline, allèle, variante, génotype, propriétés coagulantes, dérive génétique, marqueur génétique, rendement fromager, hétérozygoté, homozygote, race bovine Canadienne

INTRODUCTION

Dans la perspective d'implanter une filière laitière spécifique de terroir dans Charlevoix, il s'avérait d'autant plus important de sélectionner une race de vache adaptée à une telle façon de produire. Selon L.G. Fortin (1940) la race bovine Canadienne était réputée comme étant une vache laitière très profitable. Cette race avait la réputation de produire un lait très riche adapté à la transformation. Pour ces raisons, la race bovine Canadienne a été choisie pour établir une population de bovins laitiers à des fins de transformation artisanale de son lait. D'ailleurs, le lait serait destiné principalement à la fabrication de fromages de montagne qui exigent l'utilisation d'un lait fromager, c'est-à-dire un lait très riche en protéines ayant des aptitudes fromagères. À cet effet, Kübarsepp *et al.* (2005) mentionnent que les propriétés du lait pour la coagulation sont d'une grande importance puisqu'elles influencent la qualité et le rendement du fromage. Un lait avec des propriétés de coagulation favorables — c'est-à-dire un temps plus court pour la coagulation du lait et le raffermissement du caillé — doit pouvoir produire plus de fromage avec une texture désirable qu'un lait avec des propriétés défavorables.

La sélection des taureaux et des vaches laitières a été principalement basée sur des traits quantitatifs tels que la production de lait, de gras ou de protéines qui sont en fait présumés être contrôlés par de multiples allèles (Lara *et al.* 2002). Ils mentionnent aussi que l'amélioration génétique des caractères quantitatifs est plutôt lente puisque les caractères de production peuvent uniquement être mesurés chez un sexe. Ils sont affectés par d'innombrables polygènes (chaque polygène exerce un petit effet sur le caractère) et également affectés par des facteurs environnementaux qui ont une importante influence sur leur expression. Pour ces raisons, les caractères qualitatifs tels que les types de protéines du lait sont parmi les possibilités étudiées qui pourraient améliorer la fiabilité de l'évaluation génétique des vaches et des taureaux ayant un potentiel élevé (Lin *et al.* 1992). En fait, le polymorphisme des protéines du lait a été l'objet d'études puisqu'il y a un potentiel de les utiliser pour faciliter la sélection génétique (Del Lama et Zago, 1996 ; Golijow *et al.*, 1996 et 1999; Tambasco, 1998; Kemenes *et al.*, 1999; dans Lara *et al.* 2002).

Ce polymorphisme des protéines du lait s'exprime par la présence de protéines spécifiques dans le lait des bovins incluant quatre caséines ($\alpha 1$, $\alpha 2$, β et K - caséines) et deux protéines du petit-lait (α -lactalbumine : α -La et β -Lactoglobuline : β -Lg) dont chacune de ces protéines présente au moins deux allèles ou variantes génétiques (Eigel *et al.*, 1984 dans Lara *et al.* 2002). Plusieurs études ont démontré que certaines de ces variantes des protéines du lait de bovin — tout particulièrement certaines variantes de la K - Caséine et de la β - Lactoglobuline — sont associées à la performance de lactation et ont une importante influence sur la composition du lait et sur les aptitudes à la transformation, incluant le rendement fromager (Marziali et Ng-Kwai-Hang, 1986; Grosclaude, 1988, Aleandri *et al.*, 1990 : dans Lara *et al.*, 2002). Selon A.L. Van Eenennaam et J.F. Medrano (1991), l'allèle B du gène de la K-caséine s'exprime d'une manière plus élevée dans le lait de bovin. Ils mentionnent qu'une plus grande proportion de la K-caséine sur le total des caséines du lait a un effet sur la structure des micelles de caséine, ce qui explique l'observation que les vaches homozygotes (deux allèles identiques, i.e. BB) pour l'allèle B du gène de la K-caséine produisent un lait de qualité supérieure pour la fabrication de fromage. La proportion de K-caséine dans le lait est liée au génotype du gène de la K-caséine, soit un gradient d'importance des génotypes BB > AB ou BE > AA ou AE ou EE. D'ailleurs, Kübarsepp *et*

al. (2005) confirment que le génotype BB pour la K-caséine démontrait significativement une meilleure coagulation du lait alors que le génotype AA était la pire. De plus, le génotype BB présentait aussi le plus faible pourcentage de non coagulation des échantillons de lait 30 minutes après l'addition des enzymes. Concernant la β – Lactoglobuline, Ng-Kwai-Hang, Monardes et Hayes (1990) et Schaar, Hansson et Paterson (1985) dans Sabour *et al.* (1993) mentionnent que le génotype AA est associé à une plus grande production laitière alors que le génotype BB est associé à une plus grande quantité de gras et de caséines dans le lait. Ce génotype est donc plus favorable à la fabrication du fromage. Cependant, les génotypes de la β – Lactoglobuline n'avaient aucun effet significatif sur les paramètres de coagulation mais il a été possible d'observer que le temps de coagulation du lait était plus court et l'efficacité de coagulation la meilleure pour le génotype AA (Kübarsepp *et al.*, 2005).

Selon Gibson, J.P. (1990), il y a deux types d'effet du génotype de la K-caséine sur le processus de fabrication du fromage. Le premier effet est que la variante B provoque une coagulation beaucoup plus rapide et un raffermissement plus important du caillé. Le deuxième effet, beaucoup moins bien défini, est que la variante B augmente le rendement fromager d'un lait d'une concentration donnée en gras et en protéines. Plusieurs travaux antérieurs ont estimé que l'augmentation du rendement fromager pouvait être de l'ordre de 8 à 12%. Cependant, les résultats d'une étude des Pays-Bas suggèrent que l'effet réel de la K-caséine sur l'augmentation du rendement fromager serait plutôt autour de 3%. Pour sa part, Gibson, J.P. (1990) suggère qu'il serait tout de même avantageux de sélectionner pour l'allèle B du gène de la K-caséine dans les populations de bovins dont le lait est à plus de 70% destiné à la transformation en fromage.

En raison du fait que la production de lait de la population de bovins de race Canadienne dans Charlevoix est destinée à plus de 95% pour la transformation en fromage, il apparaît fort approprié de sélectionner en faveur de l'allèle B du gène de la K-caséine. Comme il a déjà été mentionné, la Canadienne a la réputation de produire un lait riche en protéines. Ce qui permet de prédire que l'allèle B est fort probablement très fréquent chez la Canadienne. Les races Jersey et Canadienne sont fortement apparentées et comparables (Fortin, L.G., 1940). De plus, la fréquence de l'allèle B chez la Jersey est très élevée (Lara *et al.* 2002). D'ailleurs, Sabour, M.P. *et al.* (1993) mentionne que l'allèle B a une fréquence de 0.92 chez les taureaux de race Jersey en service pour l'insémination artificielle au Canada. Devant ces renseignements, nous posons l'hypothèse que la fréquence de l'allèle B chez la Canadienne puisse être relativement élevée.

L'objectif de ce projet est donc de déterminer les génotypes et la fréquence des allèles des gènes de la K-caséine et de la β -Lactoglobuline auprès des femelles canadiennes de la population de Charlevoix et des taureaux pur-sang canadiens. Ce projet permettra alors d'évaluer le potentiel fromager de la Canadienne de Charlevoix. Ce projet jette donc les bases pour mettre en place un programme de suivi permanent et un schéma de sélection favorisant l'allèle B de la K-caséine et de la β -Lactoglobuline pour cette population de race Canadienne.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Population étudiée

Les effectifs mondiaux de la race bovine Canadienne sont estimés à près de 1000 têtes – incluant les animaux croisés et pur-sang – toutefois, il y aurait moins de 300 animaux pur-sang (avec plus de 93.75% réel de sang canadien) dont moins de 70 femelles originelles (100% de sang canadien). La Canadienne est une race qui origine dans la Vallée du St-Laurent et ses régions périphériques. Aujourd’hui, la race est surtout rencontrée au Québec mais on retrouve quelques troupeaux en Ontario, aux États-Unis et en France. Pour sa part, la population de bovins de race Canadienne de Charlevoix est constituée de deux troupeaux en production. Les effectifs totaux de cette population sont de 126 femelles dont 70 vaches en lactation. On dénombre au moins 70% de femelles pur-sang.

Concernant le nombre de taureaux d’insémination, il y a une dizaine de taureaux en service utilisés sur la population de femelles de Charlevoix. Il existe 25 taureaux en réserve génétique. La semence d’un taureau provenant de la population de Charlevoix a été récemment récoltée de manière privée et il sera mis en service bientôt. Il y a deux jeunes taureaux en élevage qui pourront être utilisés en monte naturelle avant d’avoir la semence récoltée de manière privée.

Aire d’étude

L’aire d’étude est localisée dans la partie ouest du territoire couvert par l’Astroblème de Charlevoix. L’Astroblème couvre un territoire semi-circulaire d’un rayon de 28 km dont le point central est le mont des Éboulements. L’aire est ceinturée d’un contrefort de 1000m d’altitude et précédée de deux vallées d’effondrement circulaires. Quant à la partie centrale, elle s’étend sur une superficie de 14 km de rayon à partir du Mont des Éboulements. Ce plateau est représenté par une altitude variant de 200 à 500 m. Ce plateau est parsemé de collines dont l’altitude culmine à 770 m avec le Mont des Éboulements. Le climat est fort différent selon les zones. Il est caractérisé par des unités thermiques entre 1500 et 1800 sur les plateaux alors qu’elles dépassent 2000 dans les vallées. Sur les plateaux, les sols sont caractérisés par des loams sableux-caillouteux, des loams sableux et des affleurements rocheux, tandis que dans les vallées, les sols sont caractérisés principalement par des dépôts d’argile. Ce territoire correspond au terroir de Charlevoix. Les fermes sont localisées dans les municipalités de Saint-Hilarion et de Saint-Urbain.

Méthodes

Échantillonnage

Des échantillons de poils de garde provenant de la queue de 110 vaches et génisses et de deux jeunes taureaux ont été prélevés. Pour les douze autres taureaux, un échantillon de semence a été utilisé. D’ailleurs, une paillette de semence a été fournie pour chacun des douze taureaux. En ce qui concerne les échantillons de poils, les bulbes devaient être présents afin de pouvoir en extraire l’ADN. Chaque échantillon devait contenir au moins une trentaine de poils avec bulbes. Les sites de prélèvement de poils devaient être exempts de saleté, de fumier ou d’urine. Sinon, la queue de l’animal devait être lavée et séchée avant le prélèvement des poils. Les poils étaient groupés et insérés dans une enveloppe de papier

préalablement bien identifiée à l'animal. Après avoir vérifié à deux reprises l'identification des échantillons, la liste des animaux à échantillonner et la concordance entre celles-ci, les échantillons de poils et de semence ont été expédiés au laboratoire à des fins d'analyse.

Tests en laboratoire

Les échantillons de poils et de semence ont été expédiés au laboratoire BOVA-CAN du Saskatchewan Research Council (SRC) à Saskatoon afin de procéder au typage des allèles qui codent pour la K-caséine et pour la β -Lactoglobuline. Les allèles pour la K-caséine sont A, B et E, tandis que les allèles pour la β -Lactoglobuline sont A et B. Par conséquent, les génotypes possibles pour la K-caséine sont AA, AB, AE, BE, BB et EE et pour la β -Lactoglobuline les génotypes sont AA, AB et BB. De plus, le laboratoire fournira un certificat pour chacun des 124 animaux indiquant leurs génotypes pour la K-caséine et pour la β -Lactoglobuline.

Analyses des données

Les fréquences des allèles et des génotypes seront calculées pour la K-caséine et pour la β -Lactoglobuline en fonction du profil génétique des femelles et des taureaux étudiés. De plus, les fréquences seront également calculées pour toutes les femelles et tous les mâles sans distinction du profil génétique.

États financiers

Les dépenses encourues sont légèrement inférieures à celles qui étaient prévues lors du dépôt du budget de ce projet. Il s'avère donc que le projet a été réalisé tout en respectant son budget. Les détails des dépenses et du financement du projet sont présentés dans le tableau ci bas.

Tableau 1 – Dépenses encourues en comparaison avec le budget prévu et provenance du financement pour la réalisation du projet

Dépenses	Montant réel	Budget prévu	Financement	Montant
Tests génétiques en laboratoire (124 tests à 48\$ chacun)	5 952.00\$	6 000.00\$	Entente spécifique en agroalimentaire de la Capitale-Nationale - MAPAQ	4 500.00\$
Paillettes de semence pour tester (10\$/paillette)	120.00\$	150.00\$	CLD de la MRC de Charlevoix	1 000.00\$
Manutention et expédition	60.32\$	75.00\$	SADC de Charlevoix	625.00\$
Temps requis pour la réalisation du projet (215 heures à 15\$/heure)	3 225.00\$	3 150.00\$	Association de mise en valeur des bovins de race Canadienne dans Charlevoix (AVCC)	3 378.72\$
Frais de déplacement (366 km à 0.42\$/km)	146.40\$	125.00\$		
Total	9 503.72\$	9 600.00\$	Total	9 503.72\$

Rapport

RÉSULTATS

Les résultats obtenus infirment notre hypothèse de départ qui postulait que la fréquence de l'allèle B du gène de la K-caséine est élevée chez les bovins de race Canadienne dans Charlevoix. Nous observons donc chez les 110 femelles de Charlevoix que les génotypes AB, BE et BB du gène de la K-caséine ont une fréquence de 19.09%, 1.82% et 2.73% respectivement (Tableau 2). De plus, nous observons pour les 110 femelles (sans aucune distinction du profil génétique) une fréquence de l'allèle B du gène de la K-caséine de 13.18% (Tableau 3). La fréquence des génotypes AB, BE et BB de la K-caséine varie selon le profil génétique. Il semble que ces génotypes sont plus fréquents chez les femelles croisées que chez les femelles pur-sang, sauf chez les originelles qui démontrent une fréquence plus élevée (Tableau 2). Par contre, le nombre de femelles originelles est trop petit pour conclure à une fréquence plus élevée pour les génotypes favorables. Si nous regroupons les femelles pur-sang (originelles et 93.75% et plus), la fréquence de l'allèle B est de 16.2% pour ce groupe. Pour les femelles croisées, nous observons une fréquence de l'allèle B de 23.6% (Tableau 3).

Pour ce qui a trait à la β -Lactoglobuline, nous observons que 50% des 110 femelles sont du génotype AB alors que les génotypes AA et BB ont une fréquence de 30.9% et 19.1% respectivement (Tableau 2). Il semble que le profil génétique n'influence pas la fréquence des génotypes de la β -Lactoglobuline chez les femelles. D'ailleurs, les femelles croisées et les femelles pur-sang (groupant les 100% et les 96,88% et plus) ont une fréquence du génotype AB de 47.2% et 51.4% respectivement (Tableau 2). De plus, nous observons que 32.4% des femelles pur-sang (incluant les originelles) et 27.8% des femelles croisées sont du génotype AA. Finalement, nous observons que 16.2% des femelles pur-sang et 25% des femelles croisées sont du génotype BB (Tableau 2).

Tableau 2 – Fréquence des génotypes de la K-caséine et de la β -Lactoglobuline des 110 femelles de race Canadienne testées de la population de Charlevoix

Profil génétique	N ^o de femelles	K-Caséine					B-Lactoglobuline		
		AA	AE	AB	BE	BB	AA	AB	BB
Pur-sang d'origine (100%)	6	0.50 (3)		0.3333 (2)		0.1667 (1)	0.3333 (2)	0.1667 (1)	0.50 (3)
Pur-sang (93.75% et plus)	68	0.8088 (55)	0.0735 (5)	0.1176 (8)			0.3235 (22)	0.5441 (37)	0.1324 (9)
Croisées (moins de 93.75%)	36	0.5833 (21)		0.3056 (11)	0.0556 (2)	0.0556 (2)	0.2778 (10)	0.4722 (17)	0.25 (9)
Total	110	0.7182 (79)	0.0455 (5)	0.1909 (21)	0.0182 (2)	0.0273 (3)	0.3091 (34)	0.50 (55)	0.1909 (21)

Tableau 3 – Fréquence de l'allèle B de la K-caséine et de la β -Lactoglobuline chez les 110 femelles de race Canadienne testées de la population de Charlevoix

Profil génétique	N° de femelles	K-Caséine			B-Lactoglobuline	
		A	B	E	A	B
Pur-sang d'origine (100%)	6	0.6667	0.3333		0.4167	0.5833
Pur-sang (93.75% et plus)	68	0.9044	0.0368	0.0588	0.5956	0.4044
Croisées (moins de 93.75%)	36	0.7361	0.2361	0.0278	0.5139	0.4861
Total	110	0.8364	0.1318	0.0318	0.5591	0.4409

En ce qui concerne les taureaux de races Canadienne, nous présentons dans les tableaux 4 et 5 les fréquences des génotypes et des allèles pour les gènes de la K-caséine et de β -Lactoglobuline pour les quatorze taureaux testés lors du projet. De plus, nous présentons dans le tableau 6 la liste des quatorze taureaux avec leur nom, leur profil génétique et leur génotype pour la K-caséine. À l'exception de Radisson et de Toutatis, la semence des douze autres taureaux appartient à la Société des éleveurs de bovins canadiens (SEBC). Les quatorze taureaux sont pur-sang avec un pourcentage de pureté d'au moins 96,88%. Nous observons pour les génotypes de la K-caséine qu'il n'y a que trois taureaux hétérozygotes AB ou BE et qu'il n'y a aucun taureau homozygote BB. D'ailleurs la fréquence des génotypes AB et BE est de 14,3% et 7,1% respectivement, alors que la fréquence des génotypes AA et AE est de 71,4% et 7,1% respectivement. L'allèle B a une fréquence de 14,3%. Pour sa part, l'allèle E a une fréquence de 7,1%. En ce qui a trait à la β -Lactoglobuline, nous observons une hétérozygosité de 50%. Les génotypes AA et BB ont une fréquence de 42,9% et 7,1% respectivement. L'allèle B a une fréquence de 32,1%.

Tableau 4 – Fréquence des génotypes de la K-caséine et de la β -Lactoglobuline chez les quatorze taureaux de race Canadienne testés en fonction du profil génétique

Profil génétique	N° de taureaux	K-Caséine					B-Lactoglobuline		
		AA	AE	AB	BE	BB	AA	AB	BB
Pur-sang d'origine (100%)	10	0.80 (8)		0.10 (1)	0.10 (1)		0.40 (4)	0.60 (6)	
Pur-sang (96.88% et plus)	4	0.50 (2)	0.25 (1)	0.25 (1)			0.50 (2)	0.25 (1)	0.25 (1)
Total	14	0.7143 (10)	0.0714 (1)	0.1429 (2)	0.0714 (1)		0.4286 (6)	0.50 (7)	0.0714 (1)

Rapport

Tableau 5 – Fréquence de l'allèle B de la K-caséine et de la β -Lactoglobuline chez les quatorze taureaux de race Canadienne testés

Profil génétique	N ^o de taureaux	K-Caséine			B-Lactoglobuline	
		A	B	E	A	B
Pur-sang d'origine (100%)	10	0.75	0.10	0.05	0.70	0.30
Pur-sang (96.88% et plus)	4	0.75	0.125	0.125	0.625	0.375
Total	14	0.7857	0.1429	0.0714	0.6786	0.3214

Tableau 6 – Liste des taureaux de la Société des éleveurs de bovins canadiens (SEBC) présentant leur nom et leur génotype pour la K-caséine

Profil génétique	Nom du taureau	Génotype K-caséine
Pur-sang d'origine (100%)	Loïc	AA
	Héritage	AA
	Kodiac	AA
	Champlain	AA
	Miquelon	AA
	Jack	AA
	Hermès	AA
	Victor	AA
	Karlo	AB
	Colbert	BE
Pur-sang (96.88% et plus)	Kanuk	AA
	Titan	AA
	Kopernik	AB
	Radisson	AE

Le tableau 7 présente la fréquence de l'allèle B du gène de la K-caséine en fonction du profil génétique des taureaux canadiens appartenant au Centre d'insémination artificielle du Québec (CIAQ) dont le génotype est connu. Finalement, le tableau 8 présente le nom, le génotype et le profil génétique de ces taureaux du CIAQ. La fréquence de l'allèle B est de 31% pour les dix-huit taureaux évalués mais elle varie en fonction du profil génétique. À cet effet, nous observons que les taureaux pur-sang et croisés ont une fréquence de l'allèle B de 22% et 39% respectivement. De plus, le tableau 8 montre qu'il y a neuf taureaux qui ont les génotypes AB ou BB mais qu'il n'y a que trois taureaux pur-sang qui ont les génotypes AB ou BB. Un taureau pur-sang a un génotype BB alors que les deux autres ont un génotype AB. Pour les taureaux croisés, nous observons qu'il y a un homozygote BB et six hétérozygotes AB.

Rapport

Tableau 7 – Fréquence de l'allèle B de la K-caséine chez les taureaux de race Canadienne testés appartenant au Centre d'insémination artificielle du Québec (CIAQ)

Profil génétique	Ne de taureaux	Fréquence de l'allèle B
Pur-sang d'origine (100%)	9	0.22
Croisés (moins de 96.88%)	9	0.39
Total	18	0.31

Tableau 8 – Les génotypes de la K-caséine pour les taureaux de race Canadienne testés appartenant au Centre d'insémination artificielle du Québec (CIAQ) dont plusieurs ont été fortement utilisés et certains sont toujours utilisés de manière intensive

Profil génétique	Nom du taureau	Génotype K-caséine
Pur-sang d'origine (100%)	Karaté	AA
	King	AA
	Rubis	AA
	Rocky	AA
	Tradition	AA
	Énergika	AA
	Marsouin	AB
	Trésor	AB
	Séville	BB
Croisés (moins de 96.88%)	Mister	AA
	Kid	AA
	Épi	AA
	Expo	AB
	Prestige	AB
	Brahma	AB
	Primo	AB
	Ajax ¹	AB
	Brio	BB

¹ Taureau enregistré 75% pur issu du bétail considéré comme souche, il ne porte probablement pas de gènes de Brown Swiss.

DISCUSSION

Les résultats obtenus sont contraires à notre hypothèse de départ. La fréquence de l'allèle B du gène de la K-caséine est de 23.6% pour les croisées et 16.2% pour les femelles pur-sang, ce qui est très différent de ce que nous retrouvons chez la Jersey. À l'usine de transformation, le temps de coagulation est plus long pour le lait de la Canadienne de Charlevoix que pour le lait d'un troupeau de vaches Jersey (Dominique Labbé, com. pers.). Pour un type de fromage à pâte ferme et cuite avec un affinage d'au moins six mois, le raffermissement du caillé s'est avéré être plus difficile et non satisfaisant pour le lait de la Canadienne de Charlevoix en comparant au lait du troupeau de vaches Jersey (Dominique Labbé, com. pers.). Tambasco (1998) dans Lara *et al.* (2002) rapporte que la fréquence de l'allèle B du gène de la K-caséine chez la Jersey était de 88%, ce qui semblerait expliquer les aptitudes fromagères du lait de cette race en regard à son fort taux de protéines et à l'obtention d'un très bon raffermissement du caillé. Sabour *et al.* (1993) ont mentionné que la fréquence de l'allèle B pour la K-caséine des taureaux disponibles pour l'insémination artificielle au Canada était 22% pour l'Ayrshire, 14% pour la Holstein et 92% pour la Jersey. Pour les quatorze taureaux de race Canadienne testés, la fréquence de l'allèle B pour la K-caséine est de 14%, ce qui est comparable à la Holstein, alors que la Canadienne est considérée comme une race à protéines. De nombreuses races de *Bos taurus* ont une fréquence de l'allèle B pour la K-caséine qui varie de 16% à 48.5% alors que les races de *Bos indicus* ont une fréquence inférieure à 10% (Miceikiené *et al.* 2006 ; Kübarsepp *et al.* 2005 ; Lara *et al.* 2002).

La faible fréquence de l'allèle B du gène de la K-caséine au sein de la population de bovins de race Canadienne de Charlevoix s'explique probablement par une dérive génétique débutée il y a 30 ans environ. La sélection a été portée sur la production laitière industrielle et la conformation. L'introgression avec la race Brown Swiss et d'autres races a été très importante de 1975 à aujourd'hui. Selon la liste des taureaux croisés disponibles au Centre d'insémination artificielle du Québec (CIAQ) (voir tableau 8), plusieurs d'entre eux possédaient les génotypes AB ou BB pour la K-caséine, ce qui expliquerait la fréquence de l'allèle B pour la K-caséine plus forte chez les femelles croisées que chez les femelles pur-sang. De plus, les taureaux pur-sang qui ont été aussi fortement utilisés pendant les mêmes années possédaient en presque totalité le génotype AA (voir tableau 8), ce qui expliquerait pourquoi les femelles pur-sang étaient principalement du génotype AA. De même, les taureaux pur-sang d'origine qui sont issus du programme Embryons Plus (MAPAQ et Société des éleveurs de bovins canadiens (SEBC)) et dont la semence est toujours disponible à la SEBC sont porteurs en majorité du génotype AA pour la K-caséine (voir tableau 6). Seulement trois taureaux sur douze portent le génotype AB ou BE. Ces taureaux sont issus des femelles originelles qui sont elles-mêmes issus des taureaux pur-sang disponibles à cette époque qui portaient pour la plupart le génotype AA. Les génotypes des anciens taureaux qui remontent aux années situées entre 1950 et 1975 restent inconnus. Nous suggérons que ces anciens taureaux puissent porter les génotypes qui améliorent les aptitudes fromagères du lait. D'où l'importance de considérer ceux-ci lors de la planification génétique.

Dans la population de Charlevoix, l'allèle E du gène de la K-caséine est très peu fréquent et cela est comparable à ce que l'on retrouve chez les races laitières de Lituanie (Miceikiené *et al.* 2006). Ils mentionnent que l'allèle E du gène de la K-caséine est très rare et qu'il origine des races laitières des plaines telles que la Holstein, l'Ayrshire et la Pie-

Rouge des Plaines. La fréquence de l'allèle E dans la Canadienne pourrait s'expliquer probablement par l'effet de l'introggression génétique de l'Ayrshire au cours des 150 dernières années. Puisque l'allèle E est présent chez des taureaux d'origine, il est possible que cet allèle ait toujours été présent à une très faible fréquence. Cet allèle possède les mêmes effets défavorables que l'allèle A sur les aptitudes fromagères, ce marqueur pourrait toutefois être utilisé pour expliquer l'origine génétique. Est-ce que l'allèle E était présent à l'origine ou il est plutôt le résultat de l'introggression?

Concernant la β - Lactoglobuline, Ng-Kwai-Hang, Monardes et Hayes (1990) et Schaar, Hansson et Paterson (1985) dans Sabour *et al.* (1993) affirment que le génotype AA est associé à une plus grande production laitière alors que le génotype BB est associé à une plus grande quantité de gras et de caséines dans le lait et ce génotype est donc plus favorable à la fabrication du fromage. Cependant, une étude récente démontre que les génotypes de la β - Lactoglobuline n'avaient aucun effet significatif sur les paramètres de coagulation mais il a été possible d'observer que le temps de coagulation du lait était plus court et l'efficacité de coagulation la meilleure pour le génotype AA (Kübarssepp *et al.*, 2005). Miceikiené *et al.* (2006) mentionne que la variante B de la β -Lactoglobuline favorable à l'industrie est très fréquente chez les races européennes telles que les races laitières lithuaniennes, l'Ayrshire, la Shorthorn et la Danoise rouge et elle est connue pour être prédominante chez la Holstein. La fréquence de l'allèle B pour la β -Lactoglobuline des taureaux en service au Canada était de 59% pour l'Ayrshire, de 55% pour la Holstein et de 32% pour la Jersey (Sabour *et al.*, 1993). Nous observons pour les femelles pur-sang de race Canadienne une fréquence de 28% de l'allèle B pour la β -Lactoglobuline alors que pour les quatorze taureaux testés la fréquence est de 32%, ce qui est très comparable à la fréquence observée chez la race Jersey. Puisque le lait de la Jersey semble posséder plus d'aptitudes favorables à la transformation du lait en fromage, il est fort probable que le génotype AA de la β -Lactoglobuline puisse jouer un rôle plus important pour les aptitudes fromagères. Étant donné que la Canadienne et la Jersey ont une fréquence similaire, il serait intéressant de pouvoir analyser les aptitudes fromagères si la fréquence de l'allèle B de la K-caséine devenait comparable à la Jersey.

Selon Patel *et al.* (2007), il peut être concluant d'utiliser les génotypes de la K-caséine et de la β -Lactoglobuline comme des marqueurs génétiques dans un schéma de sélection afin qu'ils puissent contribuer modérément mais significativement à l'amélioration des caractères de production laitière chez les bovins. Une sélection basée sur des marqueurs génétiques ne fait pas uniquement minimiser les problèmes mais elle est encore plus fiable et les animaux peuvent être sélectionnés plus tôt pour les programmes de reproduction. En général, la variante B des deux protéines a été reconnue comme supérieure pour la qualité du lait chez les races européennes. Après avoir analysé la situation, nous suggérons la question suivante : Est-ce que la race Canadienne avait à une autre époque un portait allélique pour la K-caséine et pour la β -Lactoglobuline similaire à la race Jersey ? Une façon de répondre à cette question est de déterminer les génotypes pour ces deux protéines chez les taureaux nés entre 1950 et 1975.

CONCLUSION

Notre groupe implante actuellement une population de bovins de race Canadienne afin de mettre en place une filière laitière du terroir de Charlevoix. Cette race a été choisie en raison de ses aptitudes et de ses qualités d'antan pour la production de terroir. Les commentaires ou les observations historiques suggèrent que la race bovine Canadienne pourrait avoir une fréquence élevée de l'allèle B du gène de la K-caséine. Malgré les résultats qui démontrent plutôt que la fréquence de l'allèle B est faible, la race Canadienne demeure toutefois un choix très approprié en raison de son caractère patrimonial lié à l'origine. Plusieurs études récentes démontrent que l'allèle B du gène de la K-caséine permettrait de favoriser significativement les aptitudes fromagères du lait. Il permet de raccourcir le temps de coagulation du lait et il augmente aussi le raffermissement du caillé. De plus, il permet d'augmenter significativement le rendement fromager. Pour la β – Lactoglobuline, les études démontrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les génotypes.

Par conséquent, il semble fort approprié de recommander la sélection pour améliorer les aptitudes fromagères du lait à l'aide de marqueurs génétiques. Ces marqueurs sont, en fait, les génotypes AA, AB, AE, BB, BE et EE pour la K-caséine. Nous recommandons la mise en place d'un schéma de sélection qui permettra de prioriser les caractères cibles pour l'élevage de taureaux qui possèdent ces marqueurs génétiques. Nous suggérons une priorisation des marqueurs de la manière suivante : BB > AB ou BE > AA ou AE ou EE. De plus, le schéma de sélection permettra de considérer prioritairement les aptitudes fromagères mais aussi d'autres caractères primordiaux tels que la frugalité et le système mammaire. Il est projeté d'utiliser les anciens taureaux dont de petites quantités de semence sont préservées dans certaines réserves génétiques, dans le but d'augmenter la fréquence de l'allèle B de la K-caséine et aussi de réintroduire les aptitudes et les qualités d'antan. Les taureaux qui sont de génotypes moins favorables pour les aptitudes fromagères pourront être d'autant plus utiles pour l'amélioration des autres caractères du schéma de sélection. La priorisation est dirigée envers les aptitudes fromagères mais il est important de l'opérer dans un schéma de sélection qui s'intègre dans un plan de gestion global.

Concernant la β – Lactoglobuline, il n'est pas aussi évident de recommander une sélection favorisant un génotype plus que l'autre. À la lumière des résultats non publiés à l'usine de transformation comparant le lait de la Jersey et de la Canadienne et d'une étude récemment publiée, il n'y a pas de différence significative favorisant un génotype plus que l'autre. Nous recommandons plutôt de s'assurer de maintenir le niveau d'hétérozygoté (AB) du gène β – Lactoglobuline au moins à 50%. Dans le futur, il serait fort pertinent de réaliser une étude comparative des génotypes de la β – Lactoglobuline afin de déterminer le génotype qui favorise les aptitudes fromagères.

Dans le but de permettre l'application du schéma de sélection de la population de bovins de race Canadienne de Charlevoix, il est suggéré de poursuivre l'identification des marqueurs ou des génotypes pour la K-caséine et pour la β – Lactoglobuline. D'ailleurs, l'utilisation des taureaux anciens nous permettra de prélever une infime quantité de semence afin d'identifier leur génotype. Ce monitoring permettra d'acquérir des connaissances pour améliorer les aptitudes fromagères mais il nous permettra peut-être de pousser plus loin la recherche en collaboration avec des chercheurs scientifiques.

Rapport

RÉFÉRENCES

- Fortin, L.G.** 1940. Histoire de la race bovine Canadienne. La bonne terre, École Supérieure d'Agriculture, Ste-Anne-de-la-Pocatière, Québec. 300 pp.
- Gibson, J.P.** 1990. Is there profit in a protein gene ? Holstein Journal.
- Kübarsepp, I., M. Henno, H. Viinalass et D. Sabre.** 2005. Effect of K-casein and β -lactoglobulin genotypes on the milk rennet coagulation properties. Agronomy Research, 3 (1) : 55-64.
- Lara, M.A.C., L.T. Gama, G. Bufarah, J.R.B. Sereno, E. M. L. Celegato et U.P. de Abreu.** 2002. Genetic polymorphisms at the K-casein *Locus* in Pantaneiro cattle. Archivos de zootecnia, 51 :99-105.
- Lin, C.Y., M.P. Sabour et A.J. Lee.** 1992. Direct typing to milk proteins as an aid for genetic improvement of dairy bulls and cows : A Review. Animal Breeding Abstracts, 60 :1-10.
- Miceikienė, I., N. Pečiulaitienė, L. Baltrėnaitė, R. Skinkytė et R. Indriulytė.** 2006. Association of cattle genetic marqueurs with performance traits. Biologija 1 :24-29.
- Patel, R.K., J.B. Chauhan, K.M. Singh et K.J. Soni.** 2007. Allelic frequency of Kappa-Casein and Beta-Lactoglobulin in Indian crossbred (Bos taurus x Bos indicus) dairy bulls. Turk. J. Vet. Anim. Sci., 31 (6) : 399-402.
- Sabour, M.P., C.Y. Lin, A. Keough, S. M. Mechanda et A.J. Lee.** 1993. Effects of selection practiced on the frequencies of K-Casein and β -Lactoglobulin genotypes in canadian artificial insemination bulls. J. Dairy Sci., 76 (1) :274-280.
- Van Eenennaam, A.L. et J. F. Medrano.** 1991. Difference in allelic protein expression in the milk of heterozygous K-casein cows. J. Dairy Sci., 74 :1491-1496.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été réalisé en collaboration avec La Direction régionale de la Capitale-Nationale du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. De plus, le projet a été rendu possible grâce à la participation financière de la Direction régionale de la Capitale-Nationale du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, du CLD de la MRC de Charlevoix et la SADC de Charlevoix. Nous souhaitons également remercier la participation et l'aide précieuse apportées au projet par madame Lyne Breton et monsieur Steve Tremblay. Nous voulons aussi remercier la Laiterie Charlevoix pour avoir communiqué des renseignements techniques concernant le lait des vaches de races canadienne et Jersey de Charlevoix. Finalement, nous souhaitons remercier les agronomes monsieur Florian Rochefort et madame Diane Allard qui ont collaboré au projet comme personnes-ressources du MAPAQ. Grâce au financement de la SADC de Charlevoix, il sera aussi possible de poursuivre la mise à jour du projet pour les trois prochaines années.

