

Laurence Maignel, M.Sc., généticienne, CCAP

Léda Villeneuve, agr., M.Sc., adjointe à la recherche, CEPOQ

Robie Morel, B.Sc. coordonnateur secteur génétique, CEPOQ

Marie-Eve Tremblay, directrice générale, FPAMQ

La génétique moléculaire pour faire des pas de géant sur la productivité des brebis :

le cas du gène Booroola



Avec les avancées récentes en génétique moléculaire, la sélection des animaux de ferme se fera de plus en plus sur la base des connaissances en génomique et sur l'utilisation de gènes dits « majeurs » parce qu'ils ont un effet important sur des caractères d'intérêt économique. Mais certains de ces gènes sont connus depuis déjà longtemps. C'est le cas du gène Booroola, un des gènes les plus étudiés pour son impact sur la prolificité des brebis. Ce gène a été introduit au Québec dès les années 1980, dans le cadre d'un programme d'introgression initié par Agriculture Canada. Depuis, la lignée Boolys ainsi créée a été stabilisée et sélectionnée dans un système de production de 5 agnelages sur 3 ans. Nous présentons ici les principaux résultats relatifs aux effets du gène Booroola sur les caractères de reproduction dans le contexte de la population Boolys, et les applications potentielles qui permettraient de tirer partie des effets bénéfiques de ce gène sur la productivité des troupeaux ovins.

L'histoire du gène Booroola

Dans les années 1940, les frères Sears, propriétaires d'un troupeau ovin à Booroola dans le nord de l'Australie, remarquèrent que leurs brebis avaient plus de naissances multiples que celles de leurs voisins. Ils commencèrent à sélectionner des reproducteurs issus de ces portées. Dans les années 1980, Piper et Bindon avancèrent l'hypothèse que cette prolificité accrue pourrait être la conséquence d'une mutation. Cette mutation existe à l'état naturel chez la race Garole en Inde et la race Hu en Chine, et a fort probablement été transmise à la population Mérinos australienne lors de croisements avec la race Garole à la fin du 18^{ème} siècle.

Rappelons que la mutation Booroola (notée FecB, ou B, ou F) est due au polymorphisme d'un seul nucléotide « SNP » dans le gène BMPR1B (*Bone Morphogenetic Protein Receptor 1-B*) sur le chromosome 6. Ce changement infime dans la séquence ADN provoque un changement dans la structure de la protéine codée par ce gène. Par différents processus physiologiques complexes, la princi-

pale conséquence de la mutation est la hausse du taux d'ovulation, conduisant à une augmentation de prolificité. Une conférence internationale a récemment fait le point sur l'état des connaissances sur le gène à travers le monde (ACIA, 2009), et une synthèse des travaux de recherche réalisés sur le gène (Davis, 2008) rapporte des effets très variables d'une race à l'autre, avec une taille de portée moyenne des brebis porteuses de deux copies du gène B variant de 1,98 à 2,84 agneaux d'après les résultats publiés à ce jour. Le gène Booroola est actuellement répertorié chez 48 populations ovines présentes dans 19 pays différents. Dans la majorité des cas, il a été introduit dans des populations non porteuses du gène, à partir de populations originaires d'Asie et d'Océanie.

Pour en savoir plus sur le gène Booroola, nous vous invitons à consulter les articles intitulés « De l'ADN aux gènes majeurs, en passant par les EPDs... voici l'avenir de la génétique ovine » et « Le gène majeur Booroola sous la loupe » parus respectivement dans l'Ovin Québec de l'été 2009 et celui de printemps 2010.

Le gène Booroola au Québec

Au Canada, le gène Booroola a été introduit dans une population de brebis de race DLS (Dorset-Leicester-Suffolk) à partir d'un programme de croisement avec des béliers Mérinos Booroola néo-zélandais initié à la ferme expérimentale de La Pocatière en 1985. Ceci a conduit à la création de la lignée Boolys, aujourd'hui détenue par Denis Lavallée et Luzia Imhof de la Ferme La Cloche des Alpes. Un premier bilan réalisé en 1996 sur le troupeau de La Cloche des Alpes faisait état de 1,87 agneau né/agnelage, 1,51 agneau sevré/agnelage et 1,5 agnelage par brebis par année en saillie naturelle sur pâturage. Le portrait actuel de cette population a pu être réalisé, 25 ans après la création de la lignée, en termes de génotypes Booroola et de performances, grâce à un projet de recherche initié par la Fédération des producteurs d'agneaux et moutons du Québec (FPAMQ) en collaboration avec le Centre d'expertise en production ovine du Québec (CEPOQ) et le Centre canadien pour l'amélioration des porcs (CCAP) ainsi que le Club Boolys, avec le soutien financier du MAPAQ. Ce projet a permis, entre autres, d'analyser la productivité des brebis ++ (homozygotes non porteuses du gène Booroola), B+ (hétérozygotes pour le gène Booroola) et BB (homozygotes porteuses du gène Booroola) dans le cadre d'un système d'agnelage accéléré de 5 agnelages sur 3 ans.

Fréquence du gène Booroola dans la population Boolys

Dans le cadre du projet, les brebis Boolys en inventaire ont été génotypées pour le gène Booroola. Au total, 510 brebis ont été génotypées sur les 4 troupeaux participants. Parmi elles, 54 % portaient une copie du gène Booroola (B+) et 8 % portaient deux copies (BB). Le reste des brebis (38 %) ne portaient pas le gène Booroola. Concernant les béliers, ils sont génotypés systématiquement depuis que le test ADN est disponible (2002) et seuls les béliers porteurs du gène Booroola (B+ ou BB) sont gardés pour la reproduction. En résumé, dans la population étudiée, 62 % des brebis et 100 % des béliers sont porteurs du gène Booroola.



Effets du gène Booroola sur la productivité des brebis Boolys

L'analyse a porté sur un total de 510 brebis génotypées, ayant eu de 1 à 17 agnelages sur la période considérée, pour un total de 2 999 agnelages inclus dans l'étude (**tableau 1**). Parmi ces brebis, 326 avaient eu, au moment de l'analyse, au moins 4 agnelages, et ont été intégrées dans les calculs de productivité annuelle (agneaux nés et sevrés par an).

En moyenne, les brebis Boolys donnent naissance à 1,81 agneau et sevrant 1,58 agneau par agnelage. Elles agnelent en moyenne tous les 8 mois environ, ce qui explique la bonne productivité annuelle observée (3,27 agneaux nés et 2,65 agneaux sevrés/brebis/an). Le groupe analysé est composé de brebis de différents génotypes Booroola (porteuses de 0, 1 ou 2 copies du gène). Les analyses suivantes visent à déterminer si ces performances varient en fonction du génotype Booroola des brebis.

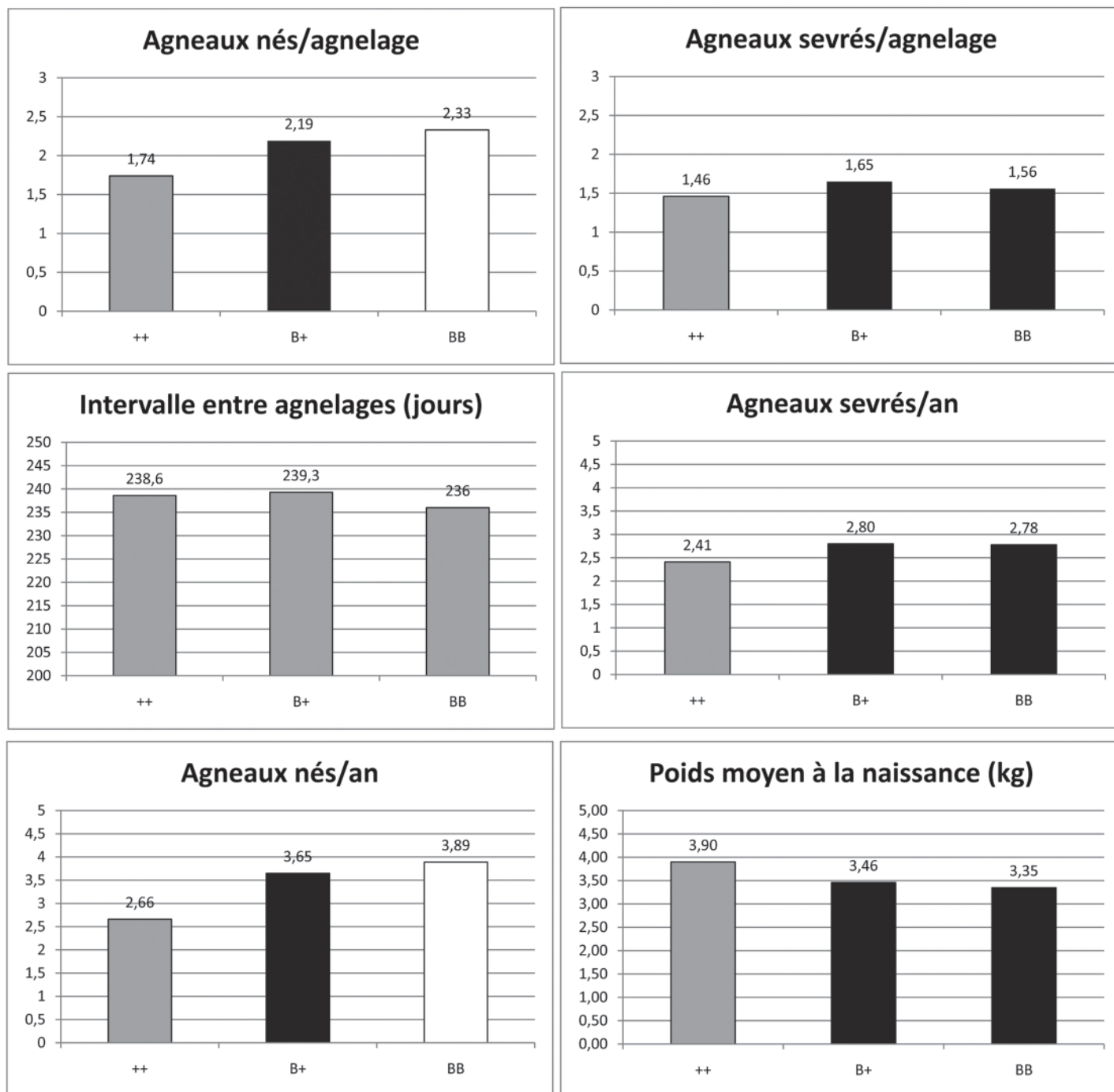
La **figure 1** présente donc les performances moyennes par génotype pour les brebis génotypées. Les moyennes sont ajustées pour tous les autres effets du modèle, à savoir le rang de portée, l'âge de la brebis intra-rang de portée, la combinaison troupeau-année-saison. Dans cet

Tableau 1. Données de reproduction moyennes pour la population Boolys

	Nombre d'observations	Moyenne	Écart type	Minimum	Maximum
Agneaux nés/agnelage	2999	1,81	0,77	1	5
Intervalle entre agnelages (jours)	2352	239	44	175	399
Agneaux nés/an*	326	3,27	0,84	1,85	6,62
Agneaux sevrés/agnelage	2985	1,58	0,80	0	5
Agneaux sevrés/an*	326	2,65	0,70	0,71	5,37
Poids moyen à la naissance (kg)	1792	3,85	0,74	1,0	7,0

* calculé pour les brebis ayant au moins 4 agnelages

Figure 1. Effet du génotype de la brebis sur les performances de reproduction (les différences significatives ($p < 0,05$) sont représentées par des barres de couleurs différentes)



échantillon, les brebis porteuses d'une copie de l'allèle B ont un avantage de 0,45 agneau né par agnelage par rapport aux brebis non porteuses (2,19 vs. 1,74), et les brebis porteuses de deux copies ont un avantage de 0,59 agneau par agnelage (2,33 vs. 1,74). Les trois génotypes sont significativement différents pour ce caractère. L'avantage des brebis B+ et BB sur la taille de portée se traduit aussi au niveau du nombre d'agneaux nés par an (+0,99 et +1,23 agneau né /an par rapport aux brebis non porteuses, respectivement). Au niveau du nombre d'agneaux sevrés par agnelage et par an,

les brebis porteuses de l'allèle B présentent un avantage de +0,19 agneau sevré/agnelage et +0,39 agneau sevré par an. On n'observe pas de différence significative entre les brebis B+ et BB sur ces deux caractères. L'intervalle entre agnelages est le seul caractère analysé pour lequel on ne trouve aucune différence significative entre les trois génotypes. Les brebis B+ et BB produisent des agneaux significativement plus légers à la naissance que les brebis ++ (3,46 et 3,35 kg vs. 3,90 kg), ce qui est cohérent avec la hausse de la taille de portée, puisque taille de portée et poids à la naissance sont étroitement liés.

Ces résultats, obtenus à partir d'un échantillon de brebis relativement grand et d'un grand nombre d'agnelages, montrent clairement l'avantage que confère l'allèle B au niveau de la prolificité dans la population Boolys. Les valeurs obtenues sont cohérentes avec les résultats de nombreuses études publiées au cours des dernières années et démontrent, comme certaines autres études, que la présence de deux allèles B n'est pas forcément souhaitable puisque même si elle se traduit par une prolificité accrue à la naissance, elle s'accompagne également d'une mortalité des jeunes plus élevée.

En résumé, l'aptitude naturelle au désaisonnement et à l'accouplement au pâturage de la population Boolys, liée à sa composition raciale, lui confère déjà un avantage indéniable au niveau de la productivité, et ceci quel que soit le statut Booroola. La présence du gène Booroola apporte un avantage supplémentaire sur la prolificité qui en fait une lignée maternelle particulièrement performante. En conséquence, l'utilisation de la lignée Boolys pour introduire le gène Booroola dans un troupeau s'accompagnera également de progrès potentiels sur le rythme d'agnelage.

Possibilités d'utilisation du gène Booroola dans l'industrie ovine québécoise

A partir de la lignée Boolys porteuse du gène Booroola avec une fréquence élevée, plusieurs scénarios sont envisageables pour transmettre les avantages décrits précédemment aux producteurs commerciaux. En premier lieu, l'utilisation de brebis 100 % Boolys dans un contexte commercial a déjà fait ses preuves et les statistiques présentées dans cette étude en font foi. Une seconde option est l'utilisation de béliers Boolys en croisement sur d'autres races pour produire des brebis commerciales. Le **tableau 2** présente différents scénarios possibles. Le choix du scénario le plus adapté devra se faire en fonction de la prolificité de départ dans la population/race choisie, mais aussi de la prolificité visée et du type de régie pratiquée.

Les moyennes de prolificité utilisées dans les simulations pour la population d'origine sont issues des don-

nées du Centre d'études sur les coûts de production en agriculture (CECPA) pour l'année 2009.

Le **tableau 3** présente les résultats théoriques de l'application des scénarios A, B, C, D, en tenant compte des effets du gène Booroola et de la transmission de l'aptitude au désaisonnement. Ces simulations sont basées sur plusieurs hypothèses fortes, par exemple que l'effet du gène Booroola sur la taille de portée dans la population receveuse est le même que dans la lignée Boolys (+0,45 agneau par agnelage pour une copie du gène, +0,59 pour deux copies) et que le niveau de régie soit équivalent à celui du troupeau étudié, pour permettre l'expression du potentiel génétique pour la prolificité. Aucun effet d'hétérosis n'a été considéré dans ces calculs, ce qui fait que les résultats des simulations sous-estiment probablement la réalité.

D'après les résultats du tableau 3, l'utilisation de béliers Boolys pour une ou deux étapes de croisement, conduirait rapidement à une hausse de la productivité (en seulement une ou deux générations selon le scénario) variant, avec les hypothèses choisies, de +13 à +30 % sur le nombre d'agneaux nés par agnelage. On note que les scénarios A et C donnent des résultats proches en termes d'amélioration de la prolificité (+26 et +30 %), mais que ces deux scénarios font intervenir des brebis toutes hétérozygotes dans le cas A, et moitié B+, moitié BB dans le cas C, ce qui a des implications au niveau de la gestion de l'hyperprolificité.

Il est important de noter qu'en plus des progrès sur la taille de portée conférés par le gène Booroola, l'utilisation de la lignée Boolys peut également permettre de bénéficier des avantages de cette population sur l'aptitude au désaisonnement. Ainsi, selon la proportion de sang Boolys chez les brebis croisées (50 % ou 75 % selon les scénarios), on peut espérer, en adoptant un calendrier de régie spécifique, réduire l'intervalle entre agnelages de l'ordre 15 à 23 % et ainsi améliorer la prolificité annuelle des brebis de 34 à 68 % selon les scénarios. Rappelons que d'après nos résultats, le gène Booroola ne joue aucun rôle dans l'aptitude au désaisonnement.



Tableau 2. Quelques scénarios possibles d'utilisation de la lignée Boolys en croisement

Scénarios	Description
Scénario A	Brebis ½ Boolys issues de béliers Boolys BB
Scénario B	Brebis ½ Boolys issues de béliers Boolys B+
Scénario C	Brebis ¾ Boolys issues de 2 étapes de croisement avec des béliers Boolys BB
Scénario D	Brebis ¾ Boolys issues de 2 étapes de croisement avec des béliers Boolys B+

Tableau 3. Progrès théoriques sur la prolificité des brebis provenant de la présence du gène Booroola dans le cas de l'application des scénarios A, B, C, D


	Scénario A	Scénario B	Scénario C	Scénario D
<i>Hypothèse de départ</i>				
Prolificité dans la population d'origine (agneaux/agnelage)	1,74	1,74	1,74	1,74
<i>Résultats théoriques</i>				
Proportion de brebis croisées porteuses du gène Booroola	100 %	50 %	100 %	62,5 %
<i>Détail des génotypes des brebis croisées</i>				
++	0 %	50 %	0 %	37,5 %
B+	100 %	50 %	50 %	50 %
BB	0 %	0 %	50 %	12,5 %
Prolificité moyenne des brebis croisées (agneaux/agnelage)	2,19	1,97	2,26	2,02
Progrès relatif sur la prolificité dû à la présence du gène Booroola	+26 %	+13 %	+30 %	+16 %

Conclusions

Le gène Booroola est connu depuis de nombreuses années grâce à son effet important qui a permis de le localiser rapidement et de l'utiliser dans diverses populations à travers le monde depuis plusieurs décennies. Il est un exemple frappant de ce que la génétique moléculaire peut apporter en termes d'améliorations rapides de la productivité, et de la facilité avec laquelle le contrôle de la fréquence du gène peut permettre de réguler la prolificité à un niveau optimal, pour l'adapter au contexte spécifique d'une population naturellement dessaisonnée conduite pour permettre 5 agnelages sur 3 ans.

Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet et partiellement présentés dans cet article confirment l'importance de l'effet du gène Booroola sur la taille de portée, mais on sait aussi que ces effets varient d'une population à l'autre, notamment selon le taux d'ovulation moyen dans la population considérée. Il est donc important de valider les calculs théoriques par des tests de croisements, si possible avec différentes races couramment utilisées, pour connaître l'expression du gène chez d'autres races.

Avec le séquençage récent du génome ovin, il est évident que d'autres gènes majeurs seront identifiés dans les années à venir, et permettront de réaliser des progrès importants, surtout sur les caractères peu héréditaires et/ou difficiles à mesurer, tels que la reproduction et la résistance aux maladies. Il est capital pour l'industrie ovine de rester à l'affût des progrès dans ce domaine et d'évaluer leur impact sur la rentabilité de la production. Ces avancées fourniront des outils aux éleveurs qui permettront de réaliser des avancées rapides sur certains caractères, mais devront toujours être utilisés en complément de la sélection classique basée sur la génétique quantitative (via les EPDs) et la conformation.

En terminant, veuillez noter que le rapport final complet du projet sera disponible sur le site Internet du CEPOQ dans les semaines à venir. De plus, une fiche technique couleur de 4 pages est disponible gratuitement auprès de votre conseiller(ère) OVIPRO, de même qu'en version électronique sur les sites Internet du CEPOQ et de la FPAMQ. 

Remerciements

Ce projet est une initiative de la Fédération des producteurs d'agneaux et moutons du Québec (FPAMQ) et du Club Boolys, avec la collaboration du Centre d'expertise en production ovine du Québec (CEPOQ) et du Centre canadien pour l'amélioration des porcs (CCAP). Sa réalisation est rendue possible grâce au soutien financier du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) par le biais de son Programme d'appui financier aux regroupements et aux associations de producteurs désignés - Volet C « Appui à la réalisation de projets novateurs et structurants ».