



Une initiative du Comité
bovins laitiers

Symposium sur les bovins laitiers

Jeudi 21 octobre 2004
Hôtel des Seigneurs, Saint-Hyacinthe

La sélection génétique pour la résistance aux maladies : situation actuelle et perspectives d'avenir

Jacques CHESNAIS, Ph.D.
Généticien principal

L'Alliance Semex
Saint-Hyacinthe (Québec)

Conférence préparée avec la collaboration de :

Brian VAN DOORMAAL, M.Sc., directeur général
Réseau laitier canadien

Alain BRYSON, responsable de l'expertise conseil en génétique
Centre d'insémination artificielle du Québec

Note : Cette conférence a été présentée lors de l'événement
et a été publiée dans le cahier des conférences.

Pour commander le cahier des conférences, consultez
[le catalogue des publications du CRAAQ](#)

La sélection génétique pour la résistance aux maladies : situation actuelle et perspectives d'avenir

MESSAGES À RETENIR

- Il y a des différences génétiques naturelles entre animaux pour la résistance à la plupart des maladies.
- La sélection pour la résistance aux maladies risque de progresser lentement dans la plupart des cas, mais elle pourrait quand même s'avérer un moyen efficace et économique de lutte contre les maladies.
- La sélection des taureaux basée sur le comptage des cellules somatiques au Québec et au Canada semble avoir porté des fruits en ralentissant l'augmentation graduelle des problèmes de mammite que l'on observait auparavant.
- Dans les pays scandinaves, la sélection basée sur les données de prévalence et de traitement des maladies donne des résultats intéressants.
- La connaissance croissante des gènes et des marqueurs génétiques impliqués dans la résistance aux maladies permettra probablement de lutter encore plus efficacement contre elles.
- La collecte systématique de données sur la prévalence et le traitement des maladies dans les troupeaux laitiers au Québec et au Canada est une condition essentielle si l'on veut dans l'avenir assurer une sélection efficace contre ces maladies.

INTRODUCTION

Les maladies ont des effets néfastes sur la production et le bien-être des animaux. Les coûts qu'elles engendrent sont estimés à 17 % du revenu total des productions animales dans les pays développés et entre 30 % et 50 % dans les pays en voie de développement. On cite souvent la résistance aux maladies comme le prochain grand défi de la génétique animale. En fait, c'est un défi que de nombreuses équipes de recherche travaillent déjà à relever. Cependant, il y a jusqu'à présent peu de programmes de sélection pour la résistance aux maladies qui sont en place et qui ont donné des résultats concluants.

On peut trouver de nombreux exemples de différences génétiques entre les animaux pour la résistance à des maladies spécifiques ou pour la tolérance aux infections. Chez les bovins, on a observé des différences génétiques pour la fièvre aphteuse, la leucémie, la mammite, la tuberculose, la paratuberculose, la brucellose, la salmonellose, la dermatophilose, la résistance aux tiques et pour bien d'autres maladies. En réalité, quand une maladie est suffisamment bien étudiée, on met souvent en évidence des différences génétiques pour la résistance à cette

maladie. Cette situation existe probablement pour la plupart des maladies. Les conditions sont, donc là pour mettre en place des programmes de contrôle ou de sélection basés sur la résistance aux maladies.

Plusieurs raisons justifient l'emploi de la sélection plutôt que celui des méthodes traditionnelles pour contrôler les maladies. En premier lieu, l'emploi prolongé d'antibiotiques, de vaccins ou d'autres traitements entraîne souvent le développement de souches résistantes de pathogènes ou de parasites. L'efficacité des traitements diminue alors de façon importante. Le développement de souches bactériennes résistantes aux antibiotiques les plus communs est un problème non seulement en agriculture mais en médecine humaine, si bien que l'on peut s'attendre tôt ou tard à l'instauration de contraintes par les gouvernements sur l'emploi de certains antibiotiques. Même si ces contraintes visent surtout les productions animales autres que celles des bovins, où les antibiotiques sont utilisés à faibles doses dans l'alimentation, elles risquent d'avoir un impact sur les pratiques de traitements en production laitière.

La sélection pour la résistance aux maladies pourrait améliorer les résultats économiques des troupeaux à la fois en réduisant l'effet sous-clinique des maladies sur la production, et en diminuant le nombre et la gravité des cas cliniques. De plus, quel producteur laitier n'aimerait pas avoir des sujets sains et résistants aux maladies et demandant un minimum de traitements? Cependant, il faut demeurer réaliste. La sélection ne sera probablement jamais le seul outil utilisé pour lutter contre les maladies. Il faudra plutôt l'intégrer aux outils de contrôle déjà existants tels que la prévention et les interventions vétérinaires, l'alimentation, etc. Elle devra aussi trouver sa juste place parmi les autres caractères à sélectionner.

L'EFFET DE LA PRODUCTION PAR LACTATION SUR LA SANTÉ

La sélection des bovins laitiers a permis une augmentation considérable de la production. Au cours des dernières 30 années, celle-ci a augmenté de plus de 60 %. Le progrès génétique par lactation en race Holstein au Canada se chiffre présentement à 142 kg, 4,0 kg et 4,4 kg pour les rendements en lait, en gras et en protéine, respectivement (Réseau laitier canadien, 2004). Cette augmentation pourrait être associée à un accroissement des problèmes de santé et de reproduction dans le troupeau. En effet, il semble exister une relation génétique négative entre le niveau de production et l'incidence des maladies métaboliques, infectieuses et reproductives (voir tableau 1). Une explication possible serait que les vaches à forte production sont en équilibre énergétique négatif en début de lactation. Elles sont dans l'impossibilité d'obtenir de leur alimentation tous les éléments nutritifs dont elles ont besoin pour produire une aussi grande quantité de lait et doivent donc mobiliser leurs réserves corporelles. Le stress qui en résulte peut alors occasionner des problèmes métaboliques et reproductifs et rendre les animaux plus sensibles aux maladies infectieuses en déprimant leur système immunitaire (Collard *et al.*, 2000). Cette corrélation entre la production et les problèmes de santé et de reproduction ne signifie pas qu'il faille abandonner toute sélection pour la production.

En effet, celle-ci représente une valeur économique importante. Il importe plutôt soit de pallier à ces problèmes par le biais d'une alimentation et de soins de santé encore mieux adaptés, soit de recourir à la sélection pour les caractères de santé et de reproduction en vue de contrebalancer cet effet. Étant donné que la corrélation génétique entre la production laitière et les caractères de santé et de reproduction est modérée, il devrait être possible de trouver des sujets qui ont à la fois une production élevée et une bonne résistance aux maladies et de les utiliser comme parents pour la génération suivante.

Tableau 1. Corrélations génétiques moyennes entre la production laitière par lactation et la prévalence de certaines maladies dans les troupeaux laitiers scandinaves (d'après Rauw *et al.*, 1998)

Corrélations génétiques moyennes avec la production à 305 jours	
Mammite	0,28
Cétose	0,42
Problèmes des membres	0,28
Kystes ovariens	-0,06
Déplacement de caillette	-0,10
Intervalle vêlage-conception	0,45

LA SANTÉ DES VACHES AU QUÉBEC

Avant de considérer les méthodes possibles de sélection pour la résistance aux maladies, on peut se poser deux questions : Quelle est l'importance des problèmes de santé des vaches au Québec? Ces problèmes vont-ils en augmentant à cause de l'augmentation continue de la production?

Si l'on en juge par les résultats du PATLQ en 2003, les maladies infectieuses et métaboliques, y compris celles reliées aux pieds et membres, représentent 73 % des causes de mortalité et 50 % de la réforme involontaire. La mammite est la deuxième cause de réforme involontaire (26 %) après la reproduction (33 %). L'impact économique des maladies est donc considérable.

Certains indices semblent pointer vers un accroissement des problèmes, de concert avec l'augmentation de la production. Dans le cas de la reproduction, on observe, au cours des quatre dernières années, une diminution progressive du taux de non-retour des vaches de l'ordre de 0,3 à 0,5 % par an et une augmentation de l'intervalle vêlage-première saillie de 0,5 jour par an (Van Doormaal *et al.*, 2004). Ces tendances ne se retrouvent pas chez les génisses. Pour les caractères de santé, les tendances sont plus difficiles à observer.

Chez les troupeaux inscrits à l'ASTLQ (programme d'Amélioration de la santé des troupeaux laitiers du Québec), la fréquence des problèmes de reproduction et de santé par vêlage dépasse 60 % (voir tableau 2). Les problèmes de santé représentent plus de 80 % du total.

De 1993 à 2003, on observe des changements relativement mineurs tels qu'une légère augmentation des avortements, des déplacements de caillette et des kystes, et une légère diminution des mammites, des rétentions placentaires et de la fièvre vitulaire. L'interprétation de ces résultats est cependant sujette à caution. Le nombre de vaches inscrites à l'ASTLQ s'est accru d'environ 50 % pendant la période considérée et, de plus, l'inscription de troupeaux avec des profils sanitaires différents au cours des années pourrait influencer l'évolution des pourcentages de cas rapportés pour chaque maladie.

Tableau 2. Pourcentage des cas de maladies observés par rapport au nombre total de vêlages dans la banque de données de l'ASTLQ

Année	1993	1998	2003
Nombre de vêlages	37 690	50 308	55 159
Pourcentage de cas			
Problème de reproduction	16,0	13,4	13,2
Mammite	12,9	11,1	10,9
Kyste	9,4	9,6	11,6
Rétention placentaire	6,8	5,7	5,3
Avortement	4,9	5,6	6,5
Boiterie	5,2	5,0	5,0
Fièvre vitulaire	5,3	4,4	3,5
Caillette	1,0	1,7	3,2
Problème digestif	-	1,7	2,1
Dystocie	1,8	1,4	1,2
Total	63,3	59,6	62,5

D'après les données du PATLQ (voir tableau 3), le taux de réforme des vaches au programme, excluant la vente ou l'exportation, a diminué de 36 % en 1983 à 26 % en 2003. Cependant, pendant cette même période, la réforme volontaire pour la production de lait est passée de 14,6 % à 1,5 %, si bien qu'en réalité la réforme involontaire a augmenté d'environ 3 %. La réforme pour les problèmes de pis et de trayons a diminué de 2,8 % à 0,9 % des vaches inscrites, sans doute à la suite de la sélection pour une meilleure conformation. Par contre, on observe une augmentation des réformes dues aux mammites de 2,1 % à 4,1 % du nombre des vaches inscrites, et une augmentation des réformes dues aux pieds et membres de 1,2 % à 2,3 %. Le taux de mortalité des vaches a aussi augmenté de façon marquée (de 1,4 % à 3,2 % des vaches inscrites), comme c'était le cas dans la banque de données de l'ASTLQ. Ces tendances semblent concorder avec les résultats rapportés plus tôt quant à l'effet d'une augmentation continue de la production laitière.

Tableau 3. Principales causes de réforme volontaire et involontaire et mortalité des vaches inscrites au PATLQ de 1983 à 2003 (en pourcentage du nombre total de vaches inscrites au programme)

Année	1983	1993	2003
Nombre de vaches	276 029	301 418	316 462
Cause de la réforme (%) ^a			
Faible en lait	14,6	5,9	1,5
Problème de reproduction	5,9	5,2	5,3
Problème de pis/trayons	2,8	2,2	0,9
Mammite	2,1	2,6	4,1
Problème de pieds et membres	1,2	1,8	2,3
Autre cause identifiée ^b	4,0	4,8	4,1
Autre cause non identifiée	5,7	1,4	5,1
Total réforme	36,3	23,9	26,3
Mortalité (%)	1,4	1,4	3,2

^a Excluant les vaches vendues pour la production laitière, louées ou exportées.

^b Inclut : maladie, vieillesse, blessure, caillette, tempérament, conformation, lente à traire, fièvre vitulaire et faible en matière grasse ou en protéine.

En conclusion, il est clair que les problèmes de santé des vaches représentent un défi économique important au Québec. Les réformes associées aux mammites et aux pieds et membres semblent même avoir augmenté ces dernières années. Cependant, une analyse plus fine des données du PATLQ et de l'ASTLQ serait nécessaire pour confirmer ces tendances.

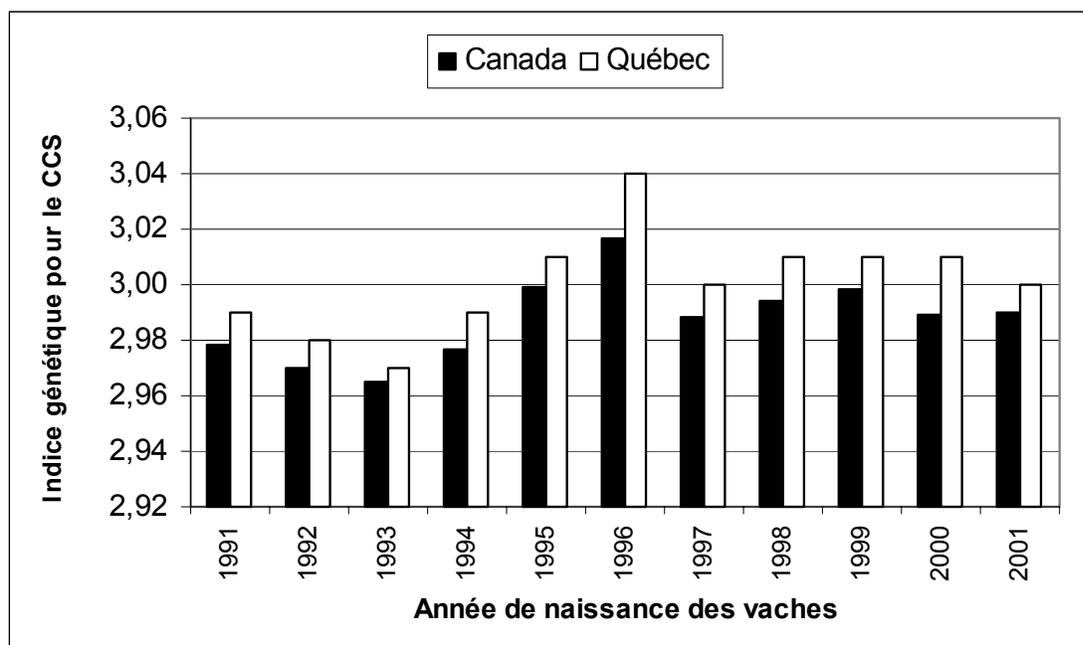
LA SÉLECTION SUR LE COMPTAGE DES CELLULES SOMATIQUES

Les mammites constituent le problème de santé le plus important dans les troupeaux laitiers. Les coûts qu'elles engendrent se font sentir à travers des pertes de production, des pertes de lait ou un prix réduit pour celui-ci, des coûts relativement élevés de traitement et une diminution de la longévité des vaches. En fait, la mammite est la cause de réforme des vaches la plus importante après la reproduction. D'après la revue bibliographique de Schepers et Dijkhuisen (1991), l'effet global de la mammite se chiffrerait entre 40 % et 50 % de la marge nette de profit par vache.

En Amérique du Nord, les données sur la prévalence des mammites dans les troupeaux inscrits au contrôle laitier ne sont pas disponibles dans une forme où on peut les utiliser facilement pour la sélection. Par contre, le comptage des cellules somatiques (CCS) est disponible et peut être utilisé comme caractère indicateur. Lorsqu'il y a infection de la glande mammaire, la réponse normale du système immunitaire est d'augmenter le nombre de lymphocytes pour combattre cette infection. Le CCS peut donc être utilisé comme indicateur d'une infection clinique ou sous-clinique de la vache. La corrélation génétique entre le CCS et la prévalence des mammites cliniques varie de 0,30 à 0,80 (Emmanuelson, 1998; Waller, 1992), ce qui indique qu'il ne s'agit pas du même caractère. Cependant, son héritabilité plus élevée que celle de la prévalence des mammites (0,10 à 0,25 au lieu de 0,01 à 0,04) se prête bien à la sélection (Kennedy *et al.*,

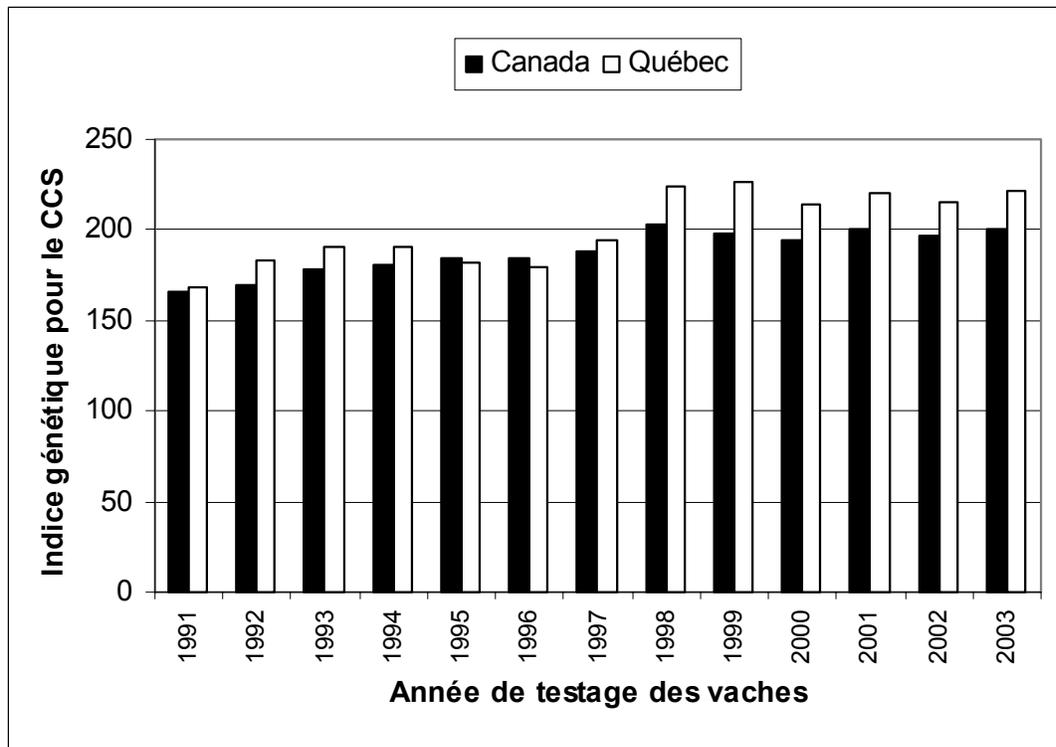
1982; Monardes *et al.*, 1984; Colleau *et al.*, 1995; Rupp *et al.*, 1999; Rupp *et al.*, 2000). La sélection sur le CCS est donc le premier, et pour l'instant le seul exemple de sélection systématique pour la résistance aux maladies chez les bovins laitiers au Québec.

Le calcul de l'épreuve des taureaux pour le CCS a commencé au Canada en 1996 pour la Holstein et, en 1997, pour les autres races. La figure 1 montre l'évolution génétique de ce caractère au Canada et au Québec depuis 1991 pour la race Holstein. On peut constater que le Québec a un niveau génétique pour le CCS légèrement plus élevé, c'est-à-dire moins désirable que les autres provinces. Cependant, les tendances génétiques sont identiques à celles du reste du Canada : une détérioration importante du niveau génétique pour le CCS pour les vaches nées de 1993 à 1996, suivie d'une amélioration significative en 1997, et d'un plafonnement par la suite. L'effet de ces tendances génétiques sur les résultats phénotypiques est illustré à la figure 2. Comme les résultats sont exprimés par année de contrôle des vaches, on doit s'attendre à un décalage d'environ trois à quatre ans avec les tendances génétiques qui, elles, sont exprimées par année de naissance des vaches. Effectivement, l'augmentation du CCS se poursuit jusqu'en 1999, puis semble se stabiliser par la suite. Les résultats pour les autres races fluctuent davantage étant donné le nombre plus réduit de données, mais ils sont aussi encourageants. Sur la base des résultats pour l'ensemble des races, on peut conclure que l'évaluation génétique pour le CCS et les orientations qu'elle a créées dans le choix des taureaux semblent avoir ralenti et même arrêté l'augmentation progressive du niveau de CCS qu'on observait depuis 1993. En particulier, les taureaux avec des valeurs de CCS élevées, donc moins désirables, sont moins utilisés qu'ils ne le seraient autrement.



Source : Réseau laitier canadien, février 2004

Figure 1. Évolution génétique du comptage des cellules somatiques (CCS) en race Holstein au Canada et au Québec



Source : Réseau laitier canadien, données utilisées pour l'évaluation génétique, toutes races confondues

Figure 2. Évolution phénotypique du comptage des cellules somatiques au Canada et au Québec

Il ne faudrait cependant pas se satisfaire de ce succès relatif. Le niveau de CCS est constant, mais il ne semble pas diminuer. Pour y arriver, on pourrait essayer de donner davantage de poids au CCS dans la sélection des taureaux.

Cependant, la sélection pour le CCS a ses limites. Tel qu'indiqué plus tôt, le CCS et la prévalence des mammites sont deux caractères différents. Lorsqu'il y a infection, le CCS augmente de façon importante. Par contre, en l'absence d'infection, certaines études montrent qu'un niveau bas de CCS pourrait indiquer un système immunitaire moins performant. Le tableau 4 illustre les résultats d'une étude effectuée en France dans 121 troupeaux. Les troupeaux qui avaient une proportion élevée de vaches avec un CCS bas (inférieur à 50 000) étaient aussi ceux qui présentaient le plus de cas de mammites cliniques, surtout lorsqu'il y avait une infection dans le troupeau (au moins 15 % des vaches avec un CCS de plus de 250 000). Si ces résultats sont confirmés, il faudra en conclure que les vaches avec des niveaux de CCS bas en l'absence d'infection sont généralement moins résistantes quand il y a infection. La sélection sur le CCS, si elle est poussée trop loin, pourrait alors avoir l'effet contraire de celui escompté.

Tableau 4. Effet du pourcentage de vaches avec un comptage des cellules somatiques (CCS) très bas (<50 000) sur le risque de mammites cliniques dans 121 troupeaux de l'ouest de la France quand au moins 15 % des vaches du troupeau étaient infectées (d'après Beaudeau *et al.*, 2002)

Pourcentage de vaches dans le troupeau avec un CSS <50 000	40 %	50 %	55 %	60 %
Prévalence moyenne des mammites cliniques*	0,55	0,65	0,76	0,90

*ICM = nombre de cas par 365 jours à risque

Ces observations montrent la nécessité de recueillir des données non seulement sur le CCS, mais aussi sur les cas cliniques de mammites dans les troupeaux, de façon à mieux comprendre les interactions entre les deux et à renforcer l'efficacité de la sélection contre les mammites. Pour permettre une sélection contre l'ensemble des maladies, la collecte de ces données devrait s'étendre à tous les événements sanitaires du troupeau, tels que les cas de fièvre vitulaire, de déplacement de caillette, de rétention placentaire, de métrite, de boiterie, de kyste, etc., et aux interventions et traitements vétérinaires. Quoiqu'une partie ou l'ensemble de ces données soient recueillies dans de nombreux troupeaux au Québec par le biais du PATLQ, de l'ASTLQ ou de logiciels spécialisés, il n'existe pas encore de structure pour les vérifier, les analyser et les utiliser conjointement pour l'évaluation génétique et la sélection.

LA SÉLECTION POUR D'AUTRES CARACTÈRES RELIÉS À LA SANTÉ

L'EXEMPLE DES PAYS NORDIQUES

Dans les pays nordiques d'Europe, comme la Suède, la Norvège, la Finlande et le Danemark, il existe des systèmes intégrés de collecte des données sur la santé qui permettent le calcul d'évaluations génétiques et la sélection pour la résistance aux maladies. Les producteurs possèdent une « carte santé » pour chacune de leurs vaches et les vétérinaires y rapportent tous les traitements. Par la suite, les traitements sont généralement regroupés selon le type de problèmes : mammite, reproduction (avortement, métrite, prolapse, kyste, rétention placentaire, etc.), digestion (cétose, fièvre vitulaire, déplacement de caillette, acidose, entérite, etc.), membres (dermatite, arthrite, érosion, ulcère, taille supplémentaire des onglons, etc.). Pour les listes des épreuves des taureaux, on rapporte le plus souvent deux catégories : mammites et autres problèmes de santé.

La sélection contre la mammite est basée soit sur les cas cliniques chez les filles (Norvège), soit sur un indice mammite reflétant à la fois les cas cliniques, le CCS, la conformation mammaire et parfois le taux de réforme associé aux mammites (voir tableau 5). Cette dernière approche est plus efficace, surtout si le nombre de filles d'après lesquelles les taureaux sont

évalués est inférieur à environ 120. En effet, comme l'héritabilité de la prévalence des mammites cliniques est inférieure à celle du CCS, il faut beaucoup de filles par taureau pour obtenir une précision équivalente. Même en Norvège, où le nombre de filles en première épreuve est très élevé (250 filles par taureau en moyenne), l'emploi d'évaluations génétiques pour le CCS dans l'indice mammitaire permettrait d'accroître l'efficacité de la sélection contre les mammites (Odegard, 2003).

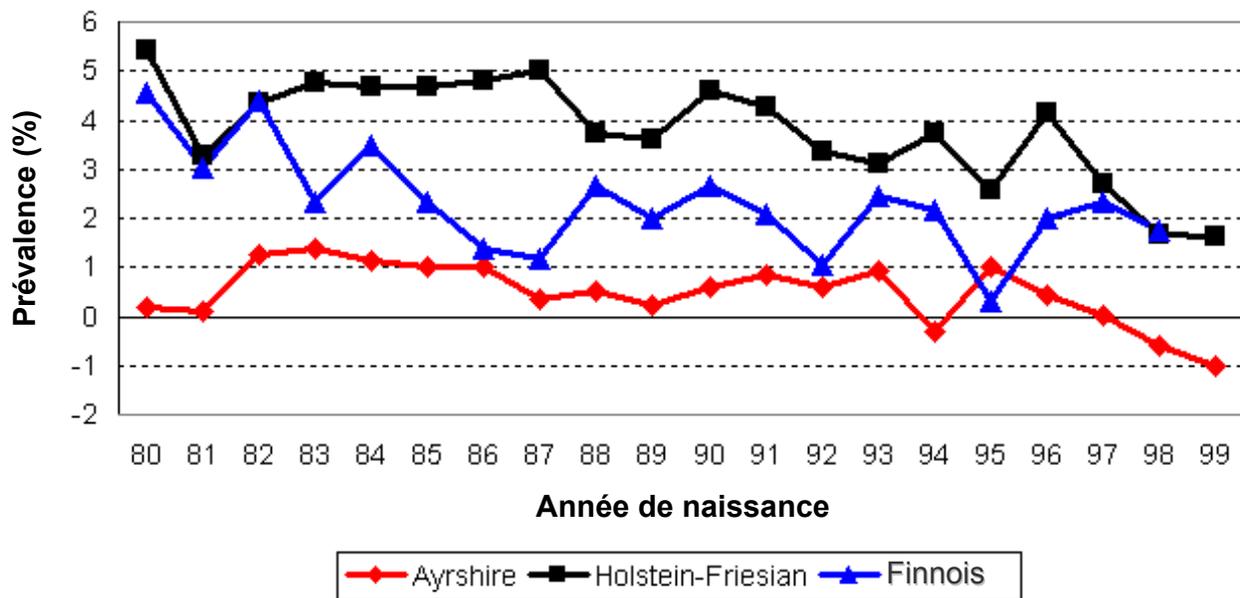
Tableau 5. Caractères utilisés dans la sélection pour la résistance aux mammites au Canada et dans les pays nordiques européens (d'après Interbull et Svensk Avel, 2004)

Pays	Prévalence clinique	Cellules somatiques	Conformation mammaire	Réforme pour les mammites
Canada	-	✓	✓	-
Norvège	✓	-	-	-
Suède	✓	✓	-	✓
Finlande	✓	✓	-	-
Danemark	✓	✓	✓	-

La sélection dans les pays nordiques semble donner des résultats intéressants. Pour la race Norvégienne Rouge, par exemple, on observe un progrès génétique pour le taux de mammites cliniques de 0,27 % par an depuis 1990, soit une réduction de 2 % à 3 % au cours des dix dernières années (Heringstad, 2001; Heringstad, 2003). En Finlande, on observe selon la race une réduction due à la sélection de 1 % à 4 % des cas de mammites chez les filles des taureaux sélectionnés au cours des 20 dernières années (voir figure 3).

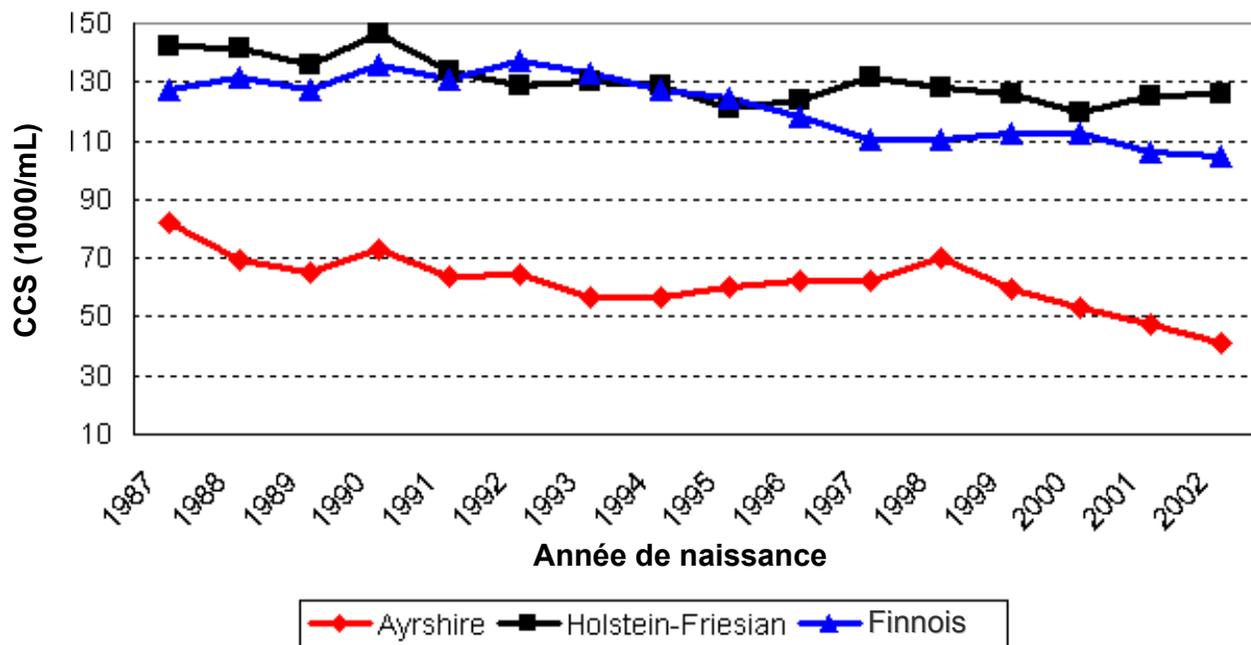
Pour l'ensemble des vaches soumises au contrôle, on rapporte aussi une réduction génétique de 10 000 à 40 000 de CCS au cours de la même période (voir figure 4). Ces baisses sont enregistrées malgré des progrès génétiques soutenus pour la production. Le nombre de traitements vétérinaires a diminué de façon importante dans ces pays au cours des dernières années (par exemple en Norvège, de 400 000 en 1990 à 170 000 en 2002), mais pour des raisons qui ne sont pas uniquement génétiques.

La sélection dans ces pays s'applique aussi aux problèmes de santé autres que les mammites. Cependant, l'emphase qui leur est donnée dans les indices de sélection demeure faible. Malgré cela, on observe des tendances génétiques intéressantes dans un pays comme la Finlande (voir figure 5).



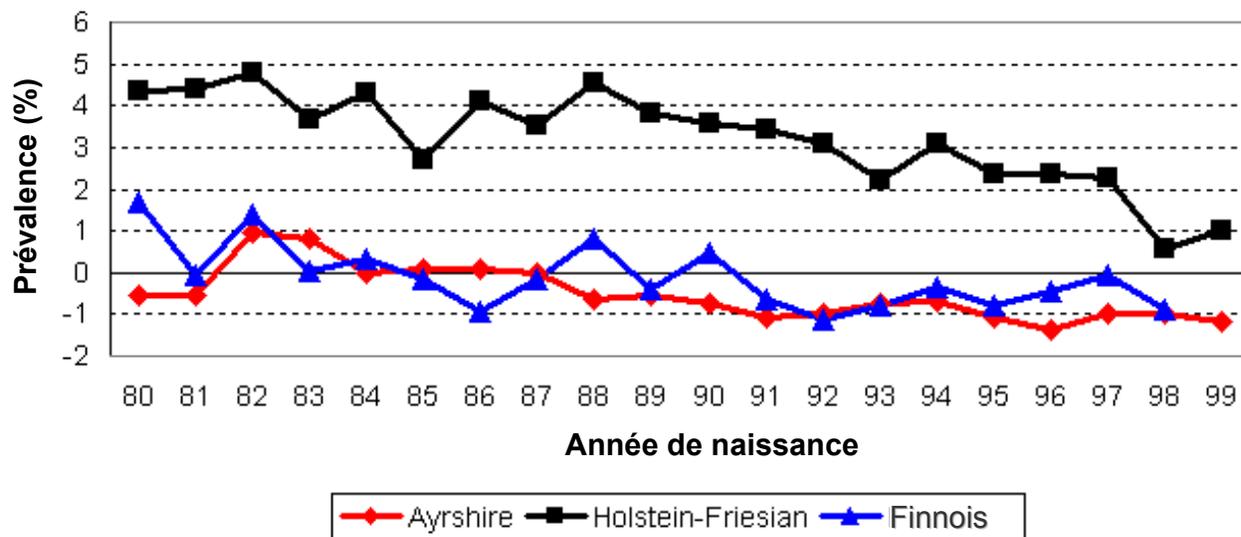
Source : Association finlandaise d'amélioration génétique du bétail (FABA)

Figure 3. Évolution génétique des taureaux finlandais pour la prévalence des mammites cliniques



Source : Association finlandaise d'amélioration génétique du bétail (FABA)

Figure 4. Évolution génétique des vaches finlandaises pour le comptage des cellules somatiques (CCS)



Source : Association finlandaise d'amélioration génétique du bétail (FABA)

Figure 5. Évolution génétique des taureaux finlandais pour les maladies autres que les mammites

UTILISATION DES DONNÉES SUR LA SANTÉ DES VACHES POUR LA SÉLECTION EN AMÉRIQUE DU NORD

Bien qu'il n'existe pas de structure nationale permettant le calcul d'évaluations génétiques pour les caractères de santé aux États-Unis, de nombreux élevages utilisent des logiciels (Dairy Comp 305, PC Dart, DHI-Plus) qui permettent de recueillir des données sur les maladies. Une étude réalisée récemment au Wisconsin (Weigel *et al.*, 2004) explore la faisabilité d'utiliser ce type de données pour la sélection pour la résistance aux maladies.

Après un travail considérable de tri et de standardisation des données, rendu nécessaire par l'hétérogénéité des méthodes de collecte et de codage des problèmes sanitaires dans les différents troupeaux considérés, les auteurs ont réussi à obtenir une banque de données permettant de calculer des paramètres génétiques et des épreuves pour six caractères : déplacement de caillette, lactose, mammité, boiterie, kystes ovariens et métrite. Les résultats sont indiqués aux tableaux 6 et 7.

Tableau 6. Héritabilité et corrélations génétiques pour différents problèmes de santé d'après des données enregistrées par des logiciels de gestion des troupeaux laitiers aux États-Unis (Weigel *et al.*, 2004)*

Trouble de santé	Caillette	Cétose	Mammite	Boiterie	Kystes	Mérite
Caillette	0,14	0,45	0,08	0,07	0,17	0,08
Cétose	-	0,06	0,17	0,19	0,42	0,17
Mammite	-	-	0,09	0,20	0,11	-0,01
Boiterie	-	-	-	0,04	0,16	0,07
Kyste	-	-	-	-	0,04	0,03
Mérite	-	-	-	-	-	0,06

* Héritabilité sur la diagonale et corrélations génétiques au-dessus de la diagonale

Tableau 7. Probabilité moyenne de six maladies chez les filles des dix meilleurs et des dix moins bons taureaux pour ces maladies, selon une étude réalisée dans 429 troupeaux de 2001 à 2003 aux États-Unis, à partir de données enregistrées par des logiciels de gestion des troupeaux (Weigel *et al.*, 2004)

Probabilité chez les filles	Caillette (%)	Cétose (%)	Mammite (%)	Boiterie (%)	Kystes (%)	Mérite (%)
Tous les taureaux	3,3	9,9	18,2	9,9	7,6	19,8
Dix meilleurs taureaux	1,7	6,3	12,9	7,7	5,2	15,1
Dix pires taureaux	6,1	13,2	25,9	13,1	9,1	27,1

Ils montrent que moyennant un bon système de collecte des données sur la santé, on devrait être en mesure de faire des progrès génétiques acceptables pour ces caractères, ou tout au moins de ralentir leur détérioration. Il est intéressant de noter que ces caractères de santé ont généralement des corrélations génétiques positives entre eux, ce qui tend à confirmer l'hypothèse que les vaches qui résistent moins bien au déséquilibre énergétique négatif en début de lactation sont sujettes à une panoplie variée de problèmes, qu'ils soient immunitaires, reproductifs, digestifs ou autres. On peut également remarquer que malgré l'héritabilité faible des caractères de santé, on peut mettre en évidence des différences génétiques importantes entre les taureaux quant à l'aptitude de leurs filles à résister aux maladies. Une étude réalisée il y a plus de dix ans en Iowa (Lyons *et al.*, 1991) aboutissait à des conclusions similaires. Cependant, sans l'existence de structures nationales organisées de collecte et d'évaluation des données sur la santé, ces études livrent un examen ponctuel de la situation plutôt qu'une base pour un effort continu d'amélioration génétique.

AUTRES MESURES LIÉES À LA SANTÉ

La présence ou l'absence d'une maladie ou d'un traitement à un stade donné de la lactation a généralement une faible héritabilité. Il peut alors être avantageux d'utiliser pour la sélection des caractères « indicateurs » qui sont associés à l'état de santé de l'animal, mais qui sont plus

héritables que l'incidence des maladies. Dans ce sens, le CCS peut être considéré comme un caractère « indicateur ». Une mamelle trop basse ou une vitesse de traite trop rapide en sont d'autres exemples. Ces caractères « indicateurs » sont utilisés au Canada en plus du CCS dans le calcul de la composante santé de l'Indice de profit à vie (IPV). Un autre caractère qui semble intéressant est la condition de chair des vaches, qui est généralement estimée par une note descriptive de 1 à 5. Plusieurs études ont établi des liens entre ce caractère et les problèmes de reproduction et de santé (Veerkamp *et al.*, 2001; Lassen *et al.*, 2003; Dechow *et al.*, 2003). Essentiellement, les vaches dont la condition de chair est basse avant la lactation ou celles dont la condition de chair baisse dramatiquement pendant leur lactation ont tendance à présenter davantage de problèmes de santé et de reproduction (voir tableau 8). Les résultats semblent confirmer l'hypothèse selon laquelle les problèmes de santé sont accentués quand les vaches se retrouvent en déficit énergétique. Le PATLQ et l'Association de race Holstein ont commencé à mesurer ce caractère dans certains troupeaux, mais un projet de recherche compréhensif serait nécessaire pour déterminer les périodes et les conditions optimales de mesures et confirmer son potentiel pour sélectionner des sujets plus aptes à résister aux maladies.

Tableau 8. Corrélations génétiques entre la condition de chair, les performances reproductives et la santé des vaches (d'après Veerkamp *et al.*, 2001; Lassen *et al.*, 2002, et Dechow *et al.*, 2003)

Caractère	Pays de l'étude	Corrélation génétique avec la condition de chair
Intervalle vêlage – 1 ^{er} service	Hollande	-0,59
Taux de conception	Hollande	0,20
Intervalle vêlage – saillie fécondante	États-Unis	-0,30
Maladies autres que la mammite	Danemark	-0,21
Maladies digestives et métaboliques	États-Unis/Danemark	-0,35
Maladies métaboliques	États-Unis	-0,78

La conductivité électrique du lait est un autre caractère « indicateur » qui pourrait se révéler utile dans l'avenir. Elle a une héritabilité plus élevée que le CCS (0,22 à 0,36 versus 0,10 à 0,25) et une corrélation génétique au moins aussi élevée avec la prévalence des mammites (Goodling *et al.*, 2001; Norberg *et al.*, 2004).

Plusieurs méthodes sont aussi en développement pour mesurer le statut immunitaire des vaches (Wagter *et al.*, 2000; Hernandez *et al.*, 2003). Ces méthodes pourraient être utilisées non seulement pour mieux gérer les interventions dans le troupeau, mais aussi pour la sélection. La sélection pour le statut immunitaire des animaux a pour objectif d'améliorer leur état sanitaire général et leur performance, en augmentant la résistance naturelle à toutes les maladies, qu'elles soient endémiques ou qu'elles résultent d'infections nouvelles ou accidentelles. Par exemple, on pourrait sélectionner de préférence les taureaux dont les filles ont tendance à ne pas subir une forte réduction de leur statut immunitaire après le début de la

lactation malgré une bonne production laitière. Certaines des mesures correspondantes doivent être prises à la ferme sur les animaux eux-mêmes, mais d'autres peuvent être réalisées en laboratoire sur un échantillon de sang (Pharmagap, communication personnelle). Bien que plusieurs de ces méthodes paraissent prometteuses, et pourraient à long terme être utilisées à grande échelle, on ne peut évaluer correctement leur efficacité qu'en les reliant à un grand nombre de données sur la prévalence des maladies et des traitements dans les troupeaux laitiers. L'existence d'un système centralisé de collecte des données sur la santé est donc là aussi un facteur limitant pour que ces techniques puissent progresser.

LES PERSPECTIVES D'AVENIR AU QUÉBEC ET AU CANADA

COLLECTE ET L'ANALYSE DES DONNÉES

Il est clair d'après les observations précédentes que si l'on veut sélectionner plus efficacement pour la résistance aux maladies et contrebalancer les effets négatifs de l'augmentation de la production, il faudra améliorer et standardiser la collecte des données sur la santé des sujets dans le troupeau. Les systèmes développés dans les pays nordiques ne sont pas forcément applicables directement au Québec. Par exemple, en Norvège, les producteurs doivent soumettre leurs données de santé sous peine de ne plus recevoir de subventions du gouvernement. Un système basé davantage sur la sensibilisation des producteurs à ces problèmes, et générant des données qui leur sont utiles à la fois pour la régie du troupeau et pour la sélection des vaches et des taureaux, serait sans doute préférable.

Le Québec possède déjà des bases intéressantes avec le PATLQ et l'ASTLQ. Il s'agit donc probablement de s'appuyer sur ces programmes et de bâtir les ponts nécessaires avec le Réseau laitier canadien (RLC) pour permettre la recherche et le calcul éventuel d'évaluations génétiques. DairyGen, le Comité de recherche représentant les producteurs laitiers du Canada, les associations de race, les centres d'I.A. et le RLC viennent de lancer une étude de six mois qui servira à dégager les options et, si possible, un consensus au niveau du secteur laitier sur la meilleure façon de recueillir et d'utiliser ces données. En plus, DairyGen vient d'accorder son appui à un projet de recherche au Collège Macdonald pour faire une première analyse des données de santé du PATLQ, de l'ASTLQ et d'autres sources au Canada.

INTÉGRATION À LA SÉLECTION

La sélection pour améliorer les caractères de santé doit se faire en conjonction avec celle d'autres caractères économiquement importants tels que la production, la durabilité et la fertilité. Le meilleur moyen de réaliser cet objectif est d'utiliser un indice de sélection, comme l'Indice de profit à vie (IPV), pour tenir compte des relations génétiques entre les caractères et de leur poids économique relatif.

La sélection pour la résistance aux maladies présente un défi particulier car, comme nous l'avons vu plus tôt, les problèmes de santé tendent à augmenter quand la production par lactation augmente. Cependant, la valeur économique de l'augmentation de la production est importante, même par rapport au coût réel des problèmes de santé qui lui sont associés, si bien que la solution ne consiste pas à arrêter de sélectionner pour la production. Il importe plutôt de contrebalancer l'effet négatif de la sélection sur la production en exerçant une pression de sélection suffisamment forte sur les caractères de santé. Le progrès génétique pour la production devrait alors être légèrement réduit, au profit de coûts de santé moins élevés.

Dans sa forme actuelle, l'IPV donne un poids de 5 % à la sélection sur la santé de la mamelle (CCS, profondeur du pis et vitesse de traite). Si davantage de données sur la santé peuvent être utilisées pour calculer des évaluations génétiques, la composante « santé » de l'IPV devrait éventuellement acquérir un poids plus important par rapport aux autres composantes. Dans les pays nordiques où des mesures directes sur la santé sont utilisées pour les évaluations génétiques, l'importance donnée à la composante santé (mammite et autres caractères) varie de 11 à 25 % de l'indice global de sélection (voir tableau 9).

Une approche complémentaire à l'utilisation d'un indice de sélection avec un poids plus élevé pour la santé consiste en pratique à moins utiliser ou à utiliser de façon plus prudente les taureaux dont les résultats pour la santé sont nettement en dessous de la moyenne.

Tableau 9. Exemples de pondérations (en % du total) données à la santé des vaches dans l'indice de sélection de plusieurs pays (d'après Interbull et Svensk Avel)

	Indice mammite (%)	Autres caractères de santé (%)	Total (%)
Norvège	22	3	25
Suède	12	3	15
Finlande	11	-	11
Danemark	19	4	23
Canada	5	-	5
États-Unis (TPI)	5	-	5
Hollande	6,5	-	6,5
France	12,5	-	12,5

LA SÉLECTION D'APRÈS LES GÈNES OU LES MARQUEURS

Les connaissances de plus en plus approfondies du génome bovin ouvrent de nouvelles perspectives dans la sélection pour la résistance aux maladies. Parmi celles-ci, on peut envisager la découverte de gènes qui confèrent une résistance innée à certaines maladies.

L'utilisation de tels gènes n'a pas besoin d'impliquer des animaux transgéniques. Il s'agit simplement de détecter dans la population les sujets qui sont naturellement porteurs de ces gènes, grâce à des tests génétiques, et de les sélectionner pour produire les générations suivantes.

Pour l'instant, le nombre de gènes connus chez les bovins est très limité. Il s'agit principalement de gènes pour lesquels des mutations causent des défauts génétiques tels que BLAD, DUMPS, citrullinaemie ou CVM. Des taureaux populaires autrefois étaient parfois porteurs de ces défauts, si bien qu'on les retrouve avec une fréquence relativement élevée parmi leurs descendants (exemples : Bell porteur de BLAD et CVM, Lantz et Convincer porteurs de CVM). Une solution consiste alors à tester les descendants pour le gène considéré, lorsque le test génétique est disponible, et à écarter de la sélection ceux qui en sont porteurs.

Certains caractères, comme le nombre de veaux mort-nés, pourraient être affectés par plusieurs gènes de ce type. Il est également possible de trouver des gènes qui confèrent une résistance spécifique à certaines maladies. Par exemple, certaines lignées de porcs sont résistantes à des souches spécifiques de *E. Coli* parce qu'elles ne possèdent pas le récepteur auquel la bactérie s'accroche dans l'intestin, le gène codant ce récepteur n'étant pas fonctionnel. Chez les ovins, certaines variantes du gène qui code la fabrication des prions confèrent apparemment à leurs porteurs une résistance génétique complète à l'encéphalopathie spongiforme ovine. Malheureusement, il ne semble pas y avoir de résistance équivalente à la maladie de la vache folle chez les bovins.

Les exemples ci-dessus correspondent à des maladies précises pour lesquelles un nombre limité de gènes est probablement impliqué. Cependant, la plupart des maladies ou problèmes de santé les plus importants d'un point de vue économique (mammites, problèmes reproductifs, digestifs, etc.) sont selon toute vraisemblance influencés par un grand nombre de gènes. Il est alors plus difficile de trouver des gènes qui expliquent une grande proportion de la résistance à ces maladies.

Plusieurs approches ont été développées pour faciliter la recherche de tels gènes. L'une consiste à examiner des gènes « candidats », c'est-à-dire des gènes importants déjà bien connus dans d'autres espèces, particulièrement l'espèce humaine, et d'étudier leurs effets chez les bovins. Une autre approche consiste à comparer l'expression des gènes chez les sujets qui résistent bien à une maladie et chez ceux qui y résistent mal. Par exemple, DairyGen appuie actuellement quatre projets de recherche pour étudier les gènes impliqués dans la résistance aux mammites, dont un à Lennoxville et un autre à l'Université Laval. Une troisième approche consiste à identifier à l'aide de marqueurs les régions des chromosomes qui, d'après leur transmission à l'intérieur des familles, paraissent associées à la résistance à certaines maladies. On peut alors utiliser ces régions pour sélectionner les reproducteurs, même si l'on ne connaît pas tous les gènes impliqués.

Toutes ces approches ont un point commun : pour vérifier qu'elles donnent les résultats escomptés, on doit avoir accès à un grand nombre de données sur la santé. Par conséquent, la génomique renvoie au même constat que la sélection traditionnelle : on ne pourra aller bien loin dans la sélection pour la résistance aux maladies si l'on ne dispose pas d'un système cohérent de collecte et d'analyse des données sur la santé.

Peut-on penser que dans l'avenir la sélection sur les gènes et les marqueurs remplacera la sélection basée sur la prévalence des maladies ou sur leurs caractères indicateurs? C'est peu probable. En effet, les deux approches se complètent et il est avantageux de les utiliser conjointement. Par exemple, les évaluations génétiques des taureaux et des vaches pourraient à l'avenir inclure un indice « mammité » et un indice pour les autres caractères de santé. Ces indices, basés sur l'incidence des maladies ou leurs caractères indicateurs, seront ajustés pour tenir compte des gènes ou des marqueurs portés par chaque individu et par ses apparentés.

Pour connaître ces gènes ou ces marqueurs, il faudra procéder à une collection systématique d'ADN au moyen d'échantillons de sang, de poils, de semence ou d'autre matériel biologique. Ces mêmes échantillons serviront à identifier les gènes et les marqueurs des reproducteurs pour la production, la conformation et la reproduction, en plus de la résistance aux maladies.

LES STRATÉGIES DE SÉLECTION CONTRE DIVERS TYPES DE MALADIES

Avant d'engager des efforts dans la sélection pour la résistance aux maladies, il importe d'établir des priorités. Les maladies à cibler doivent avoir une importance économique suffisante, et présenter un problème en dépit des moyens de lutte existants. Si une maladie infectieuse est très virulente, par exemple la fièvre aphteuse, la sélection est probablement trop lente et l'on doit plutôt recourir à l'éradication. La sélection contre une maladie infectieuse d'après des données collectées en ferme est généralement plus efficace lorsqu'il s'agit d'une maladie endémique, à laquelle les animaux sont exposés périodiquement ou de façon continue, et lorsqu'il est possible de mesurer le degré de sévérité de l'infection, soit directement, soit à l'aide de caractères indicateurs. Si ce n'est pas le cas, on doit alors plutôt recourir à la sélection basée sur les gènes ou les marqueurs.

On peut voir au tableau 10 les stratégies de sélection préconisées pour plusieurs maladies infectieuses des bovins. Les résultats expérimentaux justifiant ces stratégies sont donnés en référence dans l'article correspondant (Bishop, 2004). La sélection pour la résistance aux maladies peut être employée non seulement contre les maladies infectieuses, mais aussi contre les maladies reproductives, digestives et métaboliques que l'on retrouve dans les troupeaux laitiers.

Tableau 10. Modes de sélection préconisés pour plusieurs maladies infectieuses en fonction du type de maladie et des résultats expérimentaux obtenus jusqu'ici (Bishop, 2004)

Maladie	Agent	Mode de sélection		
		Phénotypique	Immunité générale	Gènes/marqueurs
Mammite	Bactérie	✓	✓	✓
Parasites gastro-intestinaux	Nématode	✓✓	-	✓
Maladies respiratoires (pasteurellose, IBR, BVD, BRSU, mycoplasmes, etc.)	Virus ou bactérie	-	✓	-
Leucémie bovine	Virus	✓	-	✓
Paratuberculose	Bactérie	✓	-	✓✓

CONCLUSIONS

La sélection pour la résistance aux maladies est considérée comme l'un des prochains grands défis dans le domaine des productions animales (Bishop *et al.*, 2002). Étant donné les coûts élevés liés aux maladies et aux problèmes de santé, son potentiel économique est considérable. Le développement de sujets naturellement résistants aux maladies est aussi attrayant à plusieurs autres points de vue : le bien-être des animaux et la réduction de l'emploi des antibiotiques, par exemple. D'après les études réalisées jusqu'à présent, on peut conclure que la sélection pour la résistance aux maladies est possible, mais qu'elle progressera lentement. L'un de ses objectifs devra être de faire contrepoids à l'effet négatif de l'augmentation de la production laitière par lactation sur la santé.

Des progrès modérés semblent avoir été réalisés au Canada pour la prévalence des mammites grâce à la sélection sur le CCS. La prochaine étape consisterait à développer, avec l'aide des producteurs et de l'ensemble des intervenants sur le terrain, un système cohérent intégré permettant de standardiser et d'analyser les données de prévalence des maladies et des traitements dans les troupeaux du Québec et du Canada. Une fois ceci établi, la sélection pourra se baser à la fois sur une approche traditionnelle, impliquant le calcul des évaluations génétiques pour les caractères de santé, et sur la génomique.

La sélection pour la résistance aux maladies ne remplacera pas les autres méthodes de lutte contre les problèmes de santé telles qu'une bonne alimentation, la prévention et les traitements vétérinaires, une bonne régie du troupeau, etc. Bien au contraire, elle devra s'intégrer à ces méthodes pour atteindre un maximum d'efficacité.

RÉFÉRENCES

- Beaudeau, F., C. Fourichon, H. Seegers et N. Bareille. 2002. *Risk of clinical mastitis in dairy herds with a high proportion of low individual milk somatic-cell counts*. Prev. Vet. Med. 53 : 43.
- Bishop, S.C., J. Chesnais et J. J. Stear. 2002. *Breeding for disease resistance : issues and opportunities*. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 2002, Montpellier, France.
- Bishop, S.C. 2004. *Current status and future of disease genetics and animal health research in relation to beef cattle production*. The John M. Airy Beef Cattle Symposium. Visions for genetics and breeding. 15-17 May 2003, Iowa State University, USA. AgBiotechNet Proceedings 004. Paper 9 : 1 (available at <http://www.AgBiotechNet.com>).
- Collard, B. L., Boettcher, P. J., Dekkers, J. C. M., Petitclerc, D. et Schaeffer, L. R. 2000. Relationships between energy balance and health traits of dairy cattle in early lactation. J. Dairy Sci. 83 : 2683.
- Colleau J. J. et E. Le Bihan-Duval. 1995. *A simulation study of selection methods to improve mastitis resistance of dairy cows*. J. Dairy Sci. 78 : 659.
- Dechow, C. D. 2003. *Body condition score and dairy form as indicators of dairy cattle disease and reproductive performance*. Ph.D. Dissertation. University of Tennessee.
- Dekkers, J. C., B. A. Mallard et K. Leslie. 1994. *Workshop : genetic improvement of resistance to mastitis of dairy cattle with special emphasis on somatic cell count*. J. Dairy Sci. 77 (2) : 616.
- Emmanuelson, U., B. Danell et J. Philipsson. 1988. *Genetic parameters for clinical mastitis, somatic cell counts and milk production estimated by multiple-trait restricted maximum likelihood*. J. Dairy Sci. 71: 467.
- Goodling, R. C., G. W. Rogers, J. B. Cooper et B. Rune. 2001. *Genetic relationships among electrical conductivity of milk, somatic cell scores and mastitis*. J. Dairy Sci. 84 (Abstr), 96th annual meeting of ADSA, Indianapolis, IN.
- Heringstad, B., G. Klemetsdal et J. Ruane. 2001. *Responses to selection against clinical mastitis in the Norwegian Cattle population*. Acta Agric. Scand., Sect. A, Animal Sci. 51 : 155.
- Heringstad, B., R. Rekaya, D. Gianola, G. Klemetsdal et K. A. Weigel. 2003. *Genetic change for clinical mastitis in Norwegian Cattle : a threshold model analysis*. J. Dairy Sci. 86 : 369.

- Hernandez, A., N. Karrow et B. A. Mallard. 2003. *Evaluation of immune responses of cattle as a means to identify high or low responders and use of human microarray to differentiate gene expression*. Genet. Sel. Evol. 35 : 567.
- Kennedy, B. W., M. S. Sethar, J. E. Moxley et B. R. Downey. 1982. *Heritability of somatic cell count and its relationship with milk yield and composition in Holsteins*. J. Dairy Sci. 65 : 843.
- Lassen, J., J. Hansen, M. K. Sorensen, G. P. Aamand, L. G. Christensen et P. Madsen. 2003. *The effect of using body condition score and dairy character as indicators for genetic resistance to diseases in Danish Holsteins*. J. Dairy Sci. 86 : (Abstr) 98th annual meeting of ADSA, Phoenix, AR.
- Lyons, D. T. et A. E. Freeman. 1991. *Genetics of health traits in Holstein cattle*. J. Dairy Sci. 74 : 1092.
- Monardes, H. G., J. F. Hayes et J. E. Moxley. 1984. *Heritability of lactation cell count measures and their relationships with milk yield and composition in Ayrshire cows*. J. Dairy Sci. 67 : 2429.
- Norberg, E., G.W. Rogers, R.C. Goodling, J. B. Cooper et P. Madsen. 2004. *Genetic parameters for test-day electrical conductivity of milk for first-lactation cows from random regression models*. J. Dairy Sci. 87 : 1917.
- Odegard, J., G. Klemetsdal et B. Heringstad. 2002. *Genetic improvement of mastitis resistance : validation of somatic cell score and clinical mastitis as selection criteria*. J. Dairy Sci. 86 : 4129.
- Rauw, W.M. E. Kanis, E. N. Nordhuissen-Stassen, F.J. Grommers. 1998. *Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals : a review*. Livest. Prod. Sci. 56:15.
- Rupp, R. et D. Boichard. 1999. *Genetic parameters for clinical mastitis, somatic cell score, production, udder type traits, and milking ease in first lactation Holsteins*. J. Dairy Sci. 82 : 2198.
- Rupp, R. et D. Boichard. 2000. *Relationship of early first lactation somatic cell count with risk of subsequent first clinical mastitis*. Livest. Prod. Sci. 62 : 169.
- Schepers, J. A. et A. A. Dijkhuisen. 1991. *The economics of mastitis and mastitis control in dairy cattle : a critical analysis of estimates published since 1970*. Prev. Vet. Med. 10 : 213.
- Shook, G. E. 1989. *Selection for disease resistance*. J. Dairy Sci. 72 : 1349.

- Van Doormaal, B., G. Kistemaker, F. Miglior et J. Fatehi. 2004. *Genetic evaluations for female fertility in dairy cattle*. Présentation à la session d'information du Conseil d'évaluation génétique, 5 avril 2004, Saint-Hyacinthe, Québec.
- Veerkamp, R.F., E.P.C. Koenen et G. De Jong. 2001. *Genetic correlations among body condition score, yield and fertility in first parity cows estimated by random regression models*. J. Dairy Sci. 84: 2327.
- Wagter, L. C., B. A. Mallard, B. N. Wilkie, K. E. Leslie, P. J. Boettcher et J. C. Dekkers. 2000. *A quantitative approach to classifying Holstein cows based on antibody responsiveness and its relationship to peripartum mastitis occurrence*. J. Dairy Sci. 83 (3) : 488.
- Weigel, K. A., N. R. Zwald, Y. M. Chang, R. D. Welper et J. S. Clay. 2004. *Potential for genetic evaluation of health and fertility traits using data collected in on-farm herd management software programs*. Interbull Bulletin 32 : 90.