

Mise en place de la gestion optimisée de la variabilité génétique dans les populations sélectionnées de bovins laitiers

J.J. COLLEAU (1), D. REGALDO (2), S. MOUREAUX (3), A. BARBAT (1), S. FRITZ (4), H. de PREAUMONT (5), K. TUAL (5), S. MATTALIA (3)

(1) INRA, DGA, SGQA - 78352 Jouy en Josas cedex

(2) Institut de l'Élevage, 149 Rue de Bercy - 75012 Paris

(3) Institut de l'Élevage, INRA-SGQA - 78352 Jouy en Josas cedex

(4) UNCEIA, 149 Rue de Bercy - 75012 Paris

(5) Coopérative d'Insémination Animale BP54 - 61302 L'Aigle cedex

RESUME - On décrit la mise en place en 2006 des recommandations optimisées en vue d'une meilleure gestion de la variabilité génétique, concernant notamment les taux d'utilisation des reproducteurs. Les calculs d'optimisation sont effectués à toutes les phases du schéma de sélection, c'est-à-dire au moment de la procréation des jeunes taureaux (phase "amont"), de la mise en testage, du choix des taureaux à la sortie du testage (phase "agrement"), de l'utilisation des taureaux de service (phase "aval"). L'objectif est de minimiser la parenté moyenne deux à deux dans la population existante augmentée des produits de renouvellement, tout en fixant le niveau génétique moyen pour l'index de synthèse de ceux-ci à une valeur souhaitée. Dans toutes les phases, la réduction relative de parenté entre reproducteurs après sélection est de l'ordre de 20 %, en considérant toutes les races et toutes les unités de sélection. La phase "aval détaillée" concerne la mise en place d'accouplements individuels, en tenant compte de la consanguinité et des exigences des éleveurs pour un grand nombre de caractères. Les résultats d'un test en vraie grandeur sont présentés.

Starting optimised management of genetic variability in selected dairy cattle populations

J.J. COLLEAU (1), D. REGALDO (2), S. MOUREAUX (3), A. BARBAT (1), S. FRITZ (4), H. de PREAUMONT (5), K. TUAL (5), S. MATTALIA (3)

(1) INRA, DGA, SGQA - 78352 Jouy en Josas cedex

SUMMARY - This paper describes how recommendations started to be given in 2006 for a better management of genetic variability, especially for contributions of candidate breeding animals. Optimisation algorithms were used in each step of breeding schemes, namely when procreating young bulls (upward step), selecting bulls for progeny-testing, selecting recently progeny-tested bulls (approval step), using service bulls (downward step). The objective was to minimise the average pairwise kinship coefficient in the existing population augmented by the new individuals, while setting their average genetic level for the overall EBV (ISU) to a pre-defined value. The average kinship coefficient between candidates was reduced after selection by about 20%, in any selection step, after considering data from all breeds and all breeding organisations. How to design matings (detailed downward step) was investigated based on a full size test and simultaneously accounted for inbreeding and breeder requests on many traits.

INTRODUCTION

Les programmes de sélection des bovins laitiers ont été très efficaces. Ces deux dernières décennies, le potentiel laitier a notablement augmenté, avec maintien d'une richesse du lait acceptable. Il en a été de même pour les caractéristiques de morphologie, notamment celles concernant la mamelle. Le point faible concerne la fertilité qui généralement est en train de se dégrader (Barbat *et al.*, 2005). Des mesures correctives sont en cours, notamment par la prise en considération de ce caractère dans l'Index de Synthèse Upra, l'ISU, (Colleau et Regalado, 2001).

Il convient de s'interroger aussi sur l'avenir génétique à long terme des populations concernées. En effet, on peut constater que les reproducteurs tendent à être choisis dans un nombre restreint de familles (Moureaux *et al.*, 2000 ; Mattalia *et al.*, 2006). Cette concentration familiale est très compréhensible dans le cadre des méthodes de sélection actuelles. Elle tient d'une part à la sévérité de la sélection sur ISU et d'autre part à une sévérité supplémentaire sur chacune de ses composantes, les taureaux à profil équilibré étant particulièrement recherchés. La conséquence est une augmentation substantielle de la consanguinité

(augmentation annuelle de l'ordre de 0,20 % en race Holstein). Si l'on maintenait ce rythme, on aboutirait dans cette race à un coefficient de consanguinité de l'ordre de 8 % au bout de 20 ans, ce qui est une valeur élevée.

Continuer sur cette tendance engendre un risque croissant de fragilisation. Fragilisation des programmes de sélection par réduction des progrès génétiques possibles, à cause de la diminution de la variabilité génétique et par manque de souplesse vis-à-vis d'un changement possible des objectifs de sélection. Fragilisation des animaux soumis à la dépression de consanguinité (qui affecte surtout les caractères de robustesse et de fertilité) et rendus plus sensibles à d'éventuelles anomalies ou déficiences héréditaires, à déterminisme récessif.

Il est donc souhaitable d'infléchir les programmes de sélection : tout en restant efficaces à court terme, ils doivent gérer davantage la variabilité génétique pour le long terme. Ceci comporte deux volets : d'une part la diversification de l'offre de reproducteurs par rapport à leur origine familiale et d'autre part, l'adhésion des éleveurs-utilisateurs à cette inflexion. La présente communication traite surtout le premier volet. Son objectif est de rappeler les

principes de fonctionnement de la sélection durable, tels qu'ils ressortent des travaux spécialisés de Génétique Quantitative et les résultats qu'ils auraient pu engendrer dans les populations récentes (tests effectués entre 2001 et 2005). Depuis plusieurs années, l'INRA, soutenu par l'Institut de l'Élevage pour les phases opérationnelles, développe une méthode permettant la gestion optimisée de la variabilité génétique. Avec l'aide du Ministère de l'Agriculture en 2005-2006, les deux instituts ont ensuite œuvré à la mise en application effective de la méthode. En concertation avec tous les acteurs de la sélection, des recommandations précises ont été données cette année pour toutes les populations et toutes les phases essentielles des programmes de sélection. Cette communication vise principalement à les présenter en détail et à les justifier.

1. RAPPEL DES PRINCIPES DE GESTION

Ces vingt dernières années, de nombreuses recherches ont été effectuées dans le monde concernant la conduite optimale à long terme des programmes de sélection et ont été validées avec succès au travers de nombreuses simulations. Elles sont résumées par Colleau et Moureaux (2006). Le critère essentiel à prendre en considération est la parenté moyenne deux à deux entre reproducteurs en mélangeant tous les sexes et toutes les catégories d'âge, car il préfigure le taux d'augmentation à long terme de la consanguinité. Il est à noter que la parenté entre deux animaux de même sexe est prise en considération, ce qui peut surprendre à première vue. En effet, dans le futur, ils risquent de se retrouver, l'un dans la généalogie d'un mâle, l'autre dans la généalogie d'une femelle accouplée à ce mâle, ce qui peut aboutir à un supplément de consanguinité. La même remarque s'applique pour les catégories d'âge. Le *pool* de gènes étant constitué pour moitié par les mâles et pour moitié par les femelles, la parenté moyenne 2 à 2 entre reproducteurs s'obtient en pondérant les parentes mâle-mâle, femelle-femelle, mâle-femelle par 0,25 et 0,50 respectivement. Cette parenté moyenne est aussi égale à la parenté moyenne entre leurs descendants d'intérêt qui, comme on le verra dans les applications, peuvent n'être que d'un seul sexe.

Il existe deux approches possibles pour la prise en considération du progrès génétique. On peut se fixer un niveau juge raisonnable d'augmentation annuelle du coefficient de consanguinité. Concrètement, en prenant en considération cette contrainte, tous les index de valeur génétique, toutes les parentes réelles (à partir de toute la généalogie) et en recourant à une méthode mathématique d'optimisation, on détermine la liste des reproducteurs sélectionnés et leurs taux d'utilisation, notion capitale, de manière à ce que le progrès génétique soit le maximum possible. On peut aussi faire l'inverse : se fixer le niveau génétique souhaité et minimiser la parenté moyenne entre reproducteurs retenus. Cette seconde alternative a été retenue en France, car jugée plus facile à appréhender par les sélectionneurs.

La parenté moyenne entre reproducteurs préfigure la pente de la droite qui représente l'évolution de la consanguinité à long terme. Cependant, la hauteur de cette droite dépend du système d'accouplement : avec des accouplements optimisés, elle est sensiblement moins élevée qu'avec des accouplements au hasard.

2. RAPPEL DES RESULTATS DES TESTS (2001-2005)

Ils sont donnés en détail dans Colleau *et al.* (2003, 2004) et Colleau et Moureaux (2006). Ces tests portent sur toutes les phases essentielles d'un schéma de sélection des bovins laitiers, c'est-à-dire en suivant l'ordre chronologique :

L' "amont" : phase de procréation de jeunes taureaux à partir de pères à taureaux et de mères à taureaux,

La "mise en testage" : sélection des jeunes mâles à mettre au testage sur descendance,

L' "agrement" : sélection des taureaux qui viennent d'être testés, en vue de la mise en service,

L' "aval" : sélection des taureaux disponibles pour le service et détermination de leurs taux d'utilisation,

L' "aval détaillé" : choix des vaches à accoupler à chaque taureau de service sélectionné.

Il est à noter que la dernière phase est d'une importance cruciale, pour deux raisons. D'une part, si on néglige à ce niveau les *desiderata* des éleveurs, les recommandations globales de la phase "aval" risquent de ne pas être suivies. D'autre part, il est possible dans cette phase de faire beaucoup baisser la consanguinité à court terme (celle des produits attendus).

Ces tests concernent les trois principales races laitières (Holstein, Montbeliarde, Normande) et sont rétrospectifs.

On considère les décisions réelles du passé récent pour toutes ces phases et en particulier les niveaux génétiques obtenus pour l'ISU. Compte tenu de ceux-ci, on évalue les résultats permis par les procédures d'optimisation, si elles avaient été intégralement appliquées à l'époque. En d'autres termes, on cherche à quantifier l'économie de parenté et donc de consanguinité à long terme, qu'on aurait pu réaliser, tout en maintenant le même niveau de progrès génétique à court terme. Le constat est que cette économie est de l'ordre de 20 % quand on compare les parentes après optimisation aux parentes réelles. Elle est substantielle, ce qui incite à poursuivre la démarche en temps réel et non plus simplement en rétrospectif.

3. BILAN DE LA MISE EN PLACE (2006)

L'objectif de cette mise en place (printemps-été 2006), effectuée au niveau national (toutes unités de sélection, toutes races) est de donner des indications précises sur les animaux à sélectionner et leurs taux d'utilisation, pour toutes les phases, excepté pour l'aval détaillé. Il s'agit d'informations nouvelles à considérer par les sélectionneurs, sachant bien entendu qu'ils restent toujours maîtres de leurs décisions finales. Les calculs sont effectués en tenant compte au maximum de leurs contraintes opérationnelles (ce qui avait été aussi le cas dans la période de test).

3.1 AMONT

Au début de la campagne de procréation de jeunes taureaux, l'Unité de Sélection fournit la liste des taureaux candidats et des femelles candidates (vaches et génisses), le nombre N de jeunes taureaux à faire naître et leur niveau moyen sur ISU. La transplantation embryonnaire étant une technique coûteuse, elle peut indiquer éventuellement le nombre maximum de collectes d'embryons par donneuse et le nombre total autorisé de collectes. En respectant les contraintes, la procédure minimise la parenté moyenne deux à deux dans la population des taureaux en cours de testage augmentée des N jeunes taureaux attendus. Les pères à taureaux déjà très utilisés sont donc désavantagés.

La selection des mères à taureaux s'effectue de manière progressive en allant du niveau de reproduction le plus eleve jusqu'au plus bas, tout en considerant les mères déjà choisies et les contraintes imposees aux methodes de reproduction.

3.2 MISE EN TESTAGE

Chaque mois, les 8 Unites de selection (races Holstein, Montbeliarde, Normande) participant au programme de Selection Assitee par Marqueurs (Fritz *et al.*, 2003) donnent le nombre annuel M de taureaux à mettre en testage, le niveau moyen souhaite pour l'ISS (index de synthèse issu de l'évaluation SAM) ainsi que la liste des taureaux entres dans l'évaluation SAM depuis un an, y compris les plus jeunes qui sont encore en cours de prospection en ferme. La procedure donne le classement des taureaux dans cette serie annuelle et est destinee à guider le choix de ceux qui sont en âge d'être mis au testage. En respectant les contraintes, elle minimise la parente moyenne deux à deux dans la population des taureaux en cours de testage augmentee des M meilleurs jeunes de la liste (les fils de taureaux déjà très utilises sont donc desavantages).

3.3 AGREMENT

Chaque Unite de Selection declare le niveau moyen ISU souhaite pour les inseminations à realiser pendant la campagne suivante et indiquent les vaches et genisses concernees. Ceci amène quelquefois à considerer des *pedigrees* de plusieurs millions d'individus. Elle donne la liste des taureaux candidats qui viennent juste d'être testes (evaluation de juin) et celle des taureaux de service disponibles. Les deux categories de taureaux sont alors mises en competition et on recommande pour l'agrement les candidats dont le taux d'utilisation calcule n'est pas nul. En respectant la contrainte ISU, les taux d'utilisation sont ceux qui minimisent la parente moyenne deux à deux dans la population femelle existante augmentee de celle des femelles à naître.

L'Unite de Selection est informee de la relation entre le classement final et les predicteurs simples tels que l'ISU, la parente moyenne du taureau avec les autres candidats, la parente moyenne du taureau avec les femelles existantes. Le classement final est en effet statistiquement très lie à une combinaison lineaire de ces trois variables. Il est à noter que le classement porte sur l'ensemble des candidats, y compris sur ceux non recommandes et permet de faire la discrimination entre ceux qui sont proches de la qualification et ceux qui en sont eloignes.

3.4 AVAL

La procedure s'effectue soit au niveau de l'Unite de Selection soit au niveau du Centre de Mise en Place, qui declarent le niveau moyen ISU pour les inseminations à realiser pendant la campagne 2006-2007 et donnent l'identification des vaches et genisses concernees. De plus ils donnent la liste des taureaux de service effectivement disponibles ainsi que les eventuelles limitations en doses de semence. La procedure et les sorties sont exactement les mêmes que pour la phase agrement : la seule difference est qu'ici tous les candidats ont déjà ete selectionnes.

3.5 EFFET DE CES PROCEDURES

L'effet net de toutes ces procedures est de faire baisser les parentes entre candidat(e)s selectionnes et la parente de ceux-ci avec une population existante de reference, par rapport à leurs valeurs homologues relevees sur les candidats avant selection. Par rapport à l'offre en entree

avant selection, les procedures choisissent donc les melanges les plus originaux possibles. On manque ici de place pour donner tout le detail, par phase du schema de selection et par population. Aussi, nous limiterons-nous à la parente moyenne entre candidats, avant et après selection (tableau 1). Pour simplifier la presentation, on ne montre que les resultats moyens par phase de selection, sans donner le detail par population.

Tableau 1 : coefficients de parente moyens entre les candidats avant et après selection

	Avant selection	Après selection	Reduction parente (%)
Amont			
Taureaux	6,2	5,0	19
Vaches	6,0	4,0	33
Mise en testage	5,7	4,7	18
Agrement	6,8	5,4	20
Aval	7,0	6,1	13

La parente moyenne entre candidats avant selection est dans toutes les phases de l'ordre de 6-7 %, ce qui correspond pour fixer les idees à la parente entre deux individus qui ont deux grands-parents en commun. En maintenant le niveau ISU desire pour chaque phase, il est possible de faire baisser significativement la parente (de l'ordre de 20 %) et donc d'ouvrir un peu l'eventail des familles.

3.6 AVAL DETAILLE

Il s'agit ici de determiner les accouplements detailles à realiser au niveau de chaque femelle d'une population, une fois connus les taux d'utilisation des taureaux d'IA (Insemination Animale), de telle manière qu'ils soient les plus acceptables possibles par les eleveurs. Sinon, ce sont les taux d'utilisation eux-mêmes (ils conditionnent, rappelons-le, l'evolution à long terme des phenomènes de parente et de consanguinite) qui risquent de s'ecarter notablement des taux optimises. Il est bien connu que les preferences des eleveurs vis-à-vis des taureaux d'IA dependent non seulement de l'index de synthèse mais aussi de ses composantes, notamment des index de morphologie. Dès lors, un taureau fortement recommande, mais seulement passable à cet egard, risquerait fort d'être sous-utilise. Une solution possible est de lui choisir des vaches qui vont compenser au moins partiellement ce defaut, tout en portant attention à la consanguinite attendue.

Le test en vraie grandeur d'une methode qui vise une mise en oeuvre effective sur le "terrain" a ete effectuee avec la collaboration de la Cooperative d'Insemination de L'Aigle. On considère les vaches et genisses vivantes, de race Normande et Holstein, nees avant septembre 2005 et susceptibles d'être inseminees au cours de la campagne 2006-2007. Elles ont donc déjà participe au calcul des taux d'utilisation optimises des taureaux de service (aval).

Les effectifs sont de 87 051 en race Normande (42 195 genisses et 44 856 vaches) et de 101 438 en race Holstein (43 586 genisses et 57 852 vaches). Les taureaux retenus sont au nombre de 21 en race Normande et de 22 en race Holstein. L'index ISU moyen pondere par le taux d'utilisation est egal à la valeur exigee soit 135 et 148, respectivement. On connaît aussi le nombre de vaches à inseminer avec chaque taureau. Pour eviter un rejet par les eleveurs, il est demande que les index ascendance (0,5 père

+ 0,25 grand-père maternel) du produit attendu soient supérieurs à des valeurs *minima*. En race Normande, les seuils sont de +250 kg pour le lait, -0,5 ‰ pour le taux protéique, -0,5 écart-type génétique pour les aplombs, la hauteur au sacrum, la distance plancher-jarret, le ligament mammaire, l'écart entre trayons avant, l'orientation des trayons, la vitesse de traite, la numération cellulaire et la fertilité. En race Holstein, les seuils sont de +300 kg pour le lait, de -1,5 ‰ pour le taux butyreux et de 0 pour le taux protéique, la mamelle, la capacité corporelle, la locomotion, la hauteur au sacrum, la numération cellulaire, la fertilité et la longévité fonctionnelle. Ces valeurs sont choisies par le sélectionneur en fonction de sa connaissance des exigences des éleveurs. Par ailleurs, pour éviter au maximum les difficultés de vêlage, les taureaux dont l'index facilité de naissance est inférieur ou égal à 87 %, ne peuvent être utilisés sur les génisses, ce qui concerne 3 taureaux en Normand et 11 taureaux en Holstein. Enfin, en race Holstein, il est nécessaire d'éviter la procréation d'homozygotes pour l'anomalie CVM (*Complex Vertebral Malformation*, Eggen, 2003) ce qui conduit à interdire les accouplements entre 5 taureaux porteurs de l'anomalie et 14770 femelles filles de 117 taureaux porteurs. Au total, la proportion d'accouplements interdits s'élève à 9,2 % en race Normande et à 24,6 % en race Holstein.

Avant l'optimisation, on dispose pour chaque accouplement possible, du coefficient de consanguinité et du nombre de "défauts", c'est-à-dire du nombre de caractères pour lesquels l'index ascendance du produit est inférieur ou égal au seuil. On cherche alors à minimiser une fonction linéaire de la consanguinité et du nombre de défauts,

$$p \text{ consanguinité}^* + (1 - p) \text{ défauts}^*$$

où p est un coefficient variant entre 0 et 1. L'étoile désigne la variable après standardisation, c'est-à-dire après recentrage sur la moyenne et division par l'écart-type, ce qui rend les deux variables totalement comparables (toutes les deux de moyenne 0 et d'écart-type 1) et qui permet de comprendre que p est bien l'importance relative donnée à la consanguinité. La méthode générale d'optimisation est celle dite du "recuit simulé" (Sonnesson et Meuwissen, 2002), qui permet de tester empiriquement l'efficacité d'un très grand nombre de combinaisons possibles (ici plusieurs millions). Les résultats obtenus figurent au tableau 2.

Une excellente valeur de compromis semble être $p=0,4$ pour laquelle on a à la fois une consanguinité et un nombre de défauts légèrement supérieurs à leur *minima*, obtenus pour $p=1$ et $p=0$ respectivement. On peut rappeler que les valeurs de seuils et de pondérations sont totalement paramétrables par l'utilisateur et qu'elles pourraient être éventuellement choisies *a posteriori* après examen d'une série d'optimisations obtenues en faisant varier les paramètres.

Tableau 2 : moyennes du coefficient de consanguinité et du nombre de défauts pour les accouplements optimisés (p est le poids donné à la consanguinité)

p	Normand		Holstein	
	Cons (%)	Défauts	Cons (%)	Défauts
0	4,3	0,23	3,8	0,96
0,2	3,2	0,24	3,2	0,98
0,4	3,2	0,25	3,0	1,02
0,5	3,2	0,26	3,0	1,06
0,6	3,1	0,29	2,9	1,10
0,8	3,0	0,38	2,7	1,30
1	2,8	0,85	2,6	1,88

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La mise en place d'indicateurs de variabilité génétique et le calcul des taux d'utilisation des reproducteurs donnent aux sélectionneurs la possibilité de diminuer sensiblement la concentration familiale de leur offre de reproducteurs (tableau 1), tout en ne perdant rien en niveau génétique pour l'ISU par rapport à leur pratique actuelle. Il est évidemment trop tôt pour évaluer l'usage effectif qui en sera fait.

Cette diversification est nécessaire mais elle ne suffit pas à garantir une meilleure maîtrise des problèmes génétiques de long terme. En effet, pour être pérenne et être constamment encouragée, elle nécessite absolument le bon vouloir des éleveurs. Celui-ci ne se sera obtenu que s'ils prennent bien conscience qu'un taux de consanguinité élevé (supérieur à 5 %, pour fixer les idées) est un réel facteur de risque pour leurs élevages et est donc à ajouter à la liste des défauts de tout ordre, qu'ils cherchent tellement à éviter.

Dans ce contexte, il est évident que tout doit être mis en œuvre, y compris en modulant en conséquence les incitations financières actuelles, pour que les éleveurs réalisent des accouplements peu consanguins. En contrepartie, les programmes d'accouplement doivent être bien étudiés, de manière à bien intégrer l'ensemble des exigences des éleveurs. L'essai réalisé au Centre de l'Aigle va dans ce sens, de même que la procédure *Sélectis*, mise au point par l'URCEO.

- Barbat A., Druet T., Bonaiti B., Guillaume F., Colleau J.J., Boichard D., 2005.** Renc. Rech. Rum., 12, 137-140
Colleau J.J., Regaldo D., 2001. Renc. Rech. Rum., 8, 329-332
Colleau J.J., Moureaux S., Briend M., Béchu J., 2003. Renc. Rech. Rum., 10, 181-184
Colleau J.J., Moureaux S., Briend M., Béchu J., 2004. Genet. Sel. Evol., 36, 373-394
Colleau J.J., Moureaux S., 2006. INRA Prod. Anim., 19, 3-14 <http://www.inra.fr/productions-animales/>
Eggen A., 2003. Renc. Rech. Rum., 10, 19-24
Fritz S., Colleau J.J., Druet T., Boscher M.Y., Rossignol M.N., Malafosse A., Boichard D., 2003. Renc. Rech. Rum., 10, 53-56
Mattalia S., Barbat A., Danchin-Burge C., Brochard M., Le Mézec P., Minery S., Jansen G., Van Doormal B. Verrier E., 2006. Renc. Rech. Rum., 13, 239-246
Moureaux S., Boichard D., Verrier E., 2000. Renc. Rech. Rum., 7, 149-152
Sonnesson A.K., Meuwissen T.H.E., 2002. Genet. Sel. Evol., 34, 23-39