

Mise en place d'une évaluation génétique sur les caractères laitiers à partir des performances élémentaires en remplacement des données lactation en race bovine

LECLERC H. (1), BARBAT-LETERRIER A. (2), DUCROCQ V. (2)

(1) Institut de l'élevage, département génétique, bâtiment 211, 78 352 Jouy-en-Josas Cedex

(2) UMR1313 INRA, génétique animale et biologie intégrative, 78 352 Jouy-en-Josas Cedex

RESUME - Les modèles d'évaluation génétique des caractères de production laitière et de comptages cellulaires chez les bovins ont considérablement évolué depuis dix ans. La plupart des grands pays laitiers ont mis en place des évaluations exploitant directement la production enregistrée à chaque contrôle par le contrôle laitier au lieu de la production cumulée en 305 jours. En France, ce changement est prévu en 2010 pour les races Prim'Holstein, Montbéliarde et Normande. Le principal intérêt des modèles de contrôles élémentaires réside dans une meilleure prise en compte des effets systématiques de l'environnement de chacun des contrôles, notamment à travers l'effet troupeau – jour de contrôle qui caractérise l'effet commun à tous les animaux présents dans un troupeau le jour du contrôle (alimentation, logement, météorologie, ...) La France a fait le choix d'un modèle original par sa simplicité d'interprétation et sa flexibilité d'utilisation. Les courbes de lactation sont décomposées en une somme d'effets propres à la vache (caractéristiques génétiques et non génétiques) et d'environnement (troupeau, race, région, rang de lactation, âge et mois de vêlage, durée de tarissement, gestation, ...) Ces effets sont calculés pour les stades de lactation de 7 à 335 jours des trois premières lactations et sont corrigés pour tous les autres facteurs de variation ce qui les rend directement interprétables. D'un point de vue génétique, l'intérêt de cette nouvelle évaluation est de disposer d'une information sur la persistance de la production laitière au cours de la lactation en plus du niveau de production classiquement estimé. Ce modèle est informatiquement très coûteux compte tenu de son niveau de sophistication et du nombre considérable de données élémentaires à analyser simultanément (plus de 170 millions de données en race Prim'Holstein). Les barrières techniques, qui ont longtemps repoussé sa mise en œuvre, sont maintenant franchies. Ce modèle offre de nombreuses perspectives, notamment liées à une possible valorisation des résultats en appui technique, comme l'ont mis en évidence les pays utilisant ce type de modèle.

Implementation of a genetic evaluation on dairy traits in cattle from test-day records instead of 305-day lactation data

LECLERC H. (1), BARBAT-LETERRIER A. (2), DUCROCQ V. (2)

(1) Institut de l'Élevage, Département Génétique, Bâtiment 211, 78 352 Jouy-en-Josas Cedex

SUMMARY - Genetic evaluation models for milk production traits and cell counting in cattle have evolved considerably over the past 10 years. Most countries have developed evaluations that directly use each test-day production collected by milk organisations instead of using cumulated production over 305 days. In France, this change is expected for 2010 in the three main breeds. The main interest of a test-day model is its ability to account for environmental effects occurring on the day of milk recording through the herd x test-day effect which is related to short term environmental effects (feeding, housing, weather condition...). France chose an original model that is easy to interpret and flexible. The lactation curves are made up of a sum of a cow's (genetic and non-genetic traits) and environmental effects (herd, breed, region, lactation number, age and calving month, length of dry period, pregnancy...). These effects are determined for each day in milk from 7 to 335 days and are corrected for all other factors of variation making them directly interpretable. From a genetic point of view, one of the main advantages of this new evaluation is to provide information on milk production persistency in addition to production level. This model is costly in terms of computing requirements due to their sophistication and the large number of data to be analysed simultaneously (more than 170 million records for the Holstein breed). The technical constraints, which delayed for a long time the implementation of the test-day model genetic evaluation in France are now, over. This model offers numerous perspectives, especially for herd management support, as shown by countries using such model.

INTRODUCTION

Au XX^{ème} siècle, la sélection des caractères laitiers était principalement basée sur la production totale au cours d'une lactation, souvent définie sur une durée de 305 jours, estimée suivant la méthode Fleischmann (interpolation de la production entre deux dates de contrôles). Avec l'évolution des outils informatiques, il est désormais possible d'envisager la réalisation d'évaluations génétiques à partir de modèles basés sur l'ensemble des contrôles mensuels, valorisant au mieux la richesse des informations recueillies. Les principaux pays laitiers (Allemagne, Pays-Bas, Canada, Italie, ... à l'exception des Etats-Unis) ont modifié leur modèle national, depuis la fin des années 1990, afin d'intégrer cette évolution technique. L'objectif de cet article est de présenter l'intérêt de ce changement par rapport à l'évaluation génétique basée sur les lactations et de donner les principales caractéristiques de cette nouvelle évaluation dont la mise en place est prévue pour la mi-2010.

1. INTERET DES MODELES « CONTROLES ELEMENTAIRES »

Les modèles dits « contrôles élémentaires » présentent deux principaux avantages. Tout d'abord, ils permettent une prise en compte très précise des effets d'environnement affectant la production le jour du contrôle comme l'alimentation, la météorologie, etc. à travers un effet correspondant à l'interaction entre le troupeau et le jour du contrôle (TJC). Dans le modèle lactation, l'effet d'environnement était modélisé de façon plus globale à travers l'interaction entre le troupeau et l'année de production. Dans ce dernier modèle, toutes les vaches ayant vêlées au cours d'une campagne étaient considérées, comme ayant le même environnement, qu'elles aient partagé ou non une période commune de production. Une grande part des effets environnementaux n'était donc pas correctement prise en compte dans le modèle lactation contrairement au modèle contrôles élémentaires (Meyer *et al.*, 1989 ; Ptak et Schaeffer, 1993). Le deuxième intérêt des modèles

contrôles élémentaires réside dans le fait que la plupart des effets du modèle (génétiques, effets fixes dépendants de l'âge au vêlage, d'une éventuelle gestation, ...) sont modélisés sous forme de courbes (*splines*, dans le cas français). Ainsi, l'impact de ces différents effets sur le caractère évalué varie suivant le stade de lactation. La forme de la courbe de lactation est étroitement liée aux caractéristiques propres de l'animal. L'utilisation d'un modèle d'évaluation basé sur les contrôles élémentaires ouvre également de nouvelles perspectives en terme de caractère sélectionné. En effet, il devient possible d'envisager une sélection sur la persistance de la production laitière. Cet aspect constitue depuis longtemps un caractère intéressant pour les éleveurs, aussi bien pour des raisons économiques dues au fonctionnement de l'exploitation agricole que pour des raisons physiologiques liées au stress des vaches productrices en début de lactation.

D'autres intérêts peuvent être cités. Les corrélations phénotypiques entre les différents contrôles, mais aussi l'intervalle entre les contrôles sont automatiquement pris en compte. En effet, la production d'un contrôle est statistiquement corrélée avec les contrôles précédents et suivants et ce d'autant plus fortement que l'intervalle entre les contrôles est réduit. La prise en compte automatique de l'intervalle entre contrôle entraîne une plus grande souplesse vis-à-vis des protocoles de collecte de données du contrôle laitier existants. De plus, il n'est plus nécessaire d'attendre 90 jours comme dans le modèle lactation pour que les performances d'une première lactation soient prises en compte dans l'évaluation génétique. Elles le sont dès le premier contrôle. Les décisions de sélection peuvent ainsi intervenir plus rapidement (Swalve 1998). Enfin, les modèles contrôles élémentaires permettent également de s'affranchir des problèmes liés à l'extrapolation de la production sur la durée de référence et des corrections appliquées aux lactations courtes.

La principale limite des modèles contrôles élémentaires est de nature informatique (Ptak et Schaeffer, 1993 ; Jamrozik *et al.*, 1997). Même si les capacités de stockage et de mémoire se sont considérablement accrues au cours des dernières années, la gestion et le traitement de millions de données suivant des modèles toujours plus complexes n'est pas sans poser de problèmes. Jamrozik *et al.* (1997) soulignent l'importance du compromis à trouver entre la complexité de la modélisation des différents effets, le nombre de paramètres à estimer et donc les besoins calculatoires.

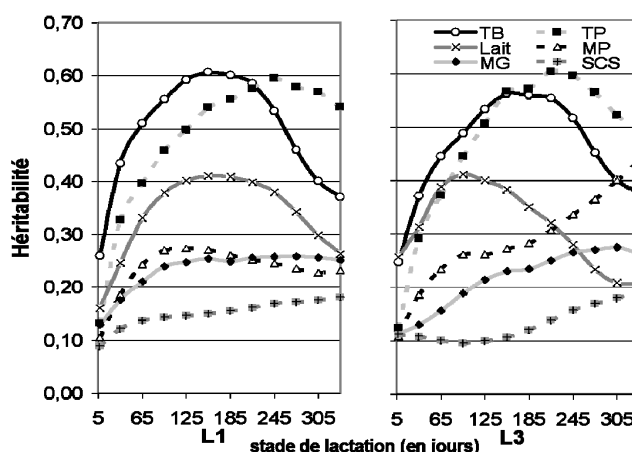
Un autre point sensible du modèle contrôles élémentaires concerne la définition fine du groupe de contemporaines correspondant à l'effet TJC. Seules les vaches ayant un rang de lactation compris entre un et trois et un stade de lactation inférieur à 335 jours contribuent à la définition de cet effet. L'effectif minimum pour la définition de l'effet TJC doit être un compromis entre la précision, qui est d'autant plus élevée que le nombre de performances enregistrées lors d'un contrôle est important et la prise en compte la plus large possible de la population. En effet, l'exclusion de troupeaux de taille modeste ou constitués d'animaux de plusieurs races serait en contradiction avec le principe de participation à un dispositif collectif d'amélioration génétique chez les bovins. L'effectif minimum pour l'effet TJC a donc été fixé à trois vaches contrôlées.

2. L'ESTIMATION DES PARAMETRES GENETIQUES

Les paramètres génétiques ont été estimés en deux étapes. Compte tenu des énormes besoins en calcul des évaluations génétiques sur les contrôles élémentaires, il était essentiel de synthétiser le maximum d'information à travers un nombre limité de variables. La première étape, qui ne concernait que la première lactation (L1), a permis de synthétiser la majeure partie de l'information des effets génétique et d'environnement permanent tout au long de la première lactation (respectivement entre 96,5 et 99,6 % et entre 83,0 et 90,8 % de l'information suivant les caractères et la race) sous forme de deux composantes. Druet *et al.* (2005) ont montré que ces deux composantes peuvent être interprétées comme le niveau de production moyen sur la lactation et une mesure de la persistance. Pour l'estimation des paramètres génétiques des trois premières lactations, ces deux caractères sous-jacents ont été définis à partir des vecteurs propres associés en L1. Le déterminisme génétique des deuxième et troisième lactations (L2 et L3) semblant très proche (corrélation entre 0,95 et 0,99 pour chacune des deux composantes : niveau de production et persistance), il a été possible de synthétiser l'information sous forme de quatre variables : deux variables représentant le niveau de production moyen et la persistance moyenne sur l'ensemble des lactations, et deux variables caractérisant la variation des deux variables précédentes entre la première lactation et les deuxième et troisième lactations.

Les héritabilités obtenues ont une forme classique en cloche, avec un maximum autour de 100 – 200 jours suivant le rang de lactation et le caractère. Elles sont globalement stables d'une lactation à l'autre (figure 1) et sont cohérentes avec les valeurs obtenues avec un modèle lactation. Pour la quantité de lait, elle fluctue entre 0,25 et 0,40, pour les quantités de matière grasse (MG) et protéique (MP), elle est comprise entre 0,20 et 0,30, les taux butyreux (TB) et protéique (TP) présentant des valeurs entre 0,30 et 0,60. L'héritabilité du taux cellulaires (SCS) est plus faible et augmente avec le stade de lactation (entre 0,10 et 0,20), de manière semblable à ce que Rupp (2000) avait obtenu.

Figure 1 : héritabilité des caractères lait, MG, MP, TB, TP et SCS en race Holstein pour la 1^{ère} (L1) et la 3^{ème} lactation (L3)



Intra lactation, les corrélations génétiques entre les différents stades sont élevées. Par exemple, en L1, la corrélation génétique entre le 150^{ème} jour et les autres stades de lactation est supérieure à 0,90 entre le 45^{ème} et le 280^{ème} jour. Entre lactations, les corrélations sont très élevées entre la L2 et la L3, mais inférieures avec la L1. Par exemple, la corrélation génétique du 150^{ème} jour de la L2 est supérieure à 0,90 avec la L1 entre 127 et 248 jours, la L2 entre 26 et 252 jours et la L3 entre 28 et 247 jours.

3. L'EVALUATION GENETIQUE

L'évaluation sur les contrôles élémentaires concernera dans un premiers temps les animaux (mâles et femelles) de races Prim'Holstein, Montbéliarde et Normande. Parmi les six caractères évalués dans le modèle lactation, les TB et TP ne feront plus l'objet d'une analyse directe, les temps de calcul de l'ensemble des caractères étant incompatibles avec les contraintes de délais à chaque évaluation. Les TB et TP seront donc, comme dans les autres pays laitiers, recalculés à partir des matières correspondantes. L'évaluation génétique sera réalisée à partir des performances journalières où le stade de lactation est inférieur ou égal à 335 et collectées au cours des lactations une à trois de vaches nées depuis le 1^{er} janvier 1988.

Chaque caractère est évalué indépendamment suivant un modèle de régressions aléatoires. Les performances journalières sont décrites comme la somme :

- d'effets fixes [un effet TJC ; quatre courbes modélisées à partir de splines (White *et al.*, 1999 ; Druet *et al.*, 2003) définies par région et rang de lactation pour la classe d'âge au vêlage (figure 2A), la classe de durée de tarissement précédente (2B), le mois de vêlage (2C) et la gestation (2D) dont le niveau de la courbe est ajustée en fonction de l'année]

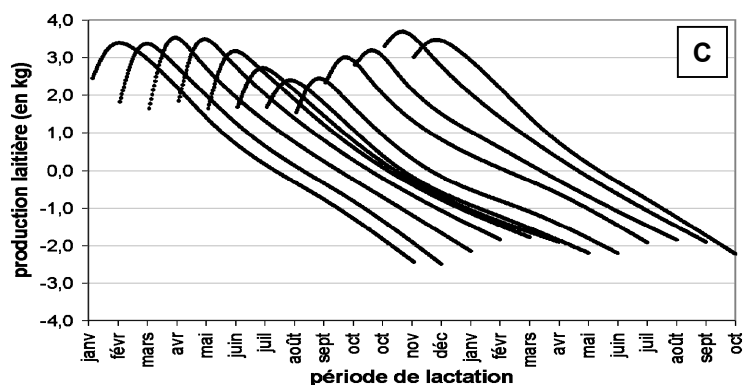
- d'effets aléatoires [quatre variables correspondant à l'effet génétique ; quatre variables correspondant à l'effet d'environnement permanent ; deux variables correspondant à l'effet troupeau x année]

- d'une résiduelle dont la variance dépend du stade de lactation, du rang de lactation, de la région, de l'année, du troupeau et du type de protocole de contrôle laitier.

Le modèle pour les comptages leucocytaires est plus simple et ne comprend pas certaines courbes d'effets fixes ni l'effet aléatoire troupeau x année.

L'évaluation est réalisée en deux étapes dont la première ne concerne que les effets fixes du modèle et est réalisée ponctuellement afin de mettre à jour les courbes des effets de l'âge, du mois de vêlage, de la durée de tarissement et de la gestation. La deuxième étape est réalisée à partir de performances précorrignées pour ces quatre courbes sans impact sur les effets aléatoires estimés (Leclerc *et al.*, 2008).

Compte tenu du modèle retenu pour l'évaluation contrôles élémentaires, nous disposons pour chacun des caractères évalués et pour chacune des lactations d'un index niveau de production et d'un index persistance. Pour synthétiser ces différentes informations et permettre une sélection efficace, chaque caractère disposera d'un index « niveau de production » moyen sur les trois lactations avec des pondérations de 0,5 pour la L1, 0,3 pour la L2 et 0,2 pour la L3. Un index persistance en première lactation pour la quantité de lait sera également disponible.



Concernant la stabilité des valeurs génétiques estimées, les expériences des autres pays laissent présager des variations, pouvant être plus importantes que celles du modèle lactation. En effet, la modélisation de la persistance accroît les risques d'évolution entre le début et la fin de la lactation. D'autre part, le passage de première à deuxième lactation est sujet à des variations d'index car le déterminisme génétique de ces deux lactations n'est pas totalement identique, contrairement à ce qui était supposé dans le modèle lactation.

Des évaluations tests ont été réalisées dans chacune des trois races principales. Comparativement à l'évaluation génétique basée sur un modèle lactation, le modèle contrôles élémentaires n'entraîne pas en moyenne de profonds changements dans les index. Les corrélations entre valeurs génétiques obtenues avec un modèle lactation et un modèle contrôles élémentaires varient suivant les caractères et la population évaluée entre 0,90 et 0,97. Ce niveau de corrélation, même s'il est élevé, devrait toutefois conduire au niveau individuel à des changements potentiellement importants dans les index et les classements.

4. LES VALORISATIONS POSSIBLES

Outre les informations sur la persistance, les évaluations génétiques sur les contrôles élémentaires offrent des perspectives de développement d'outils d'appui technique.

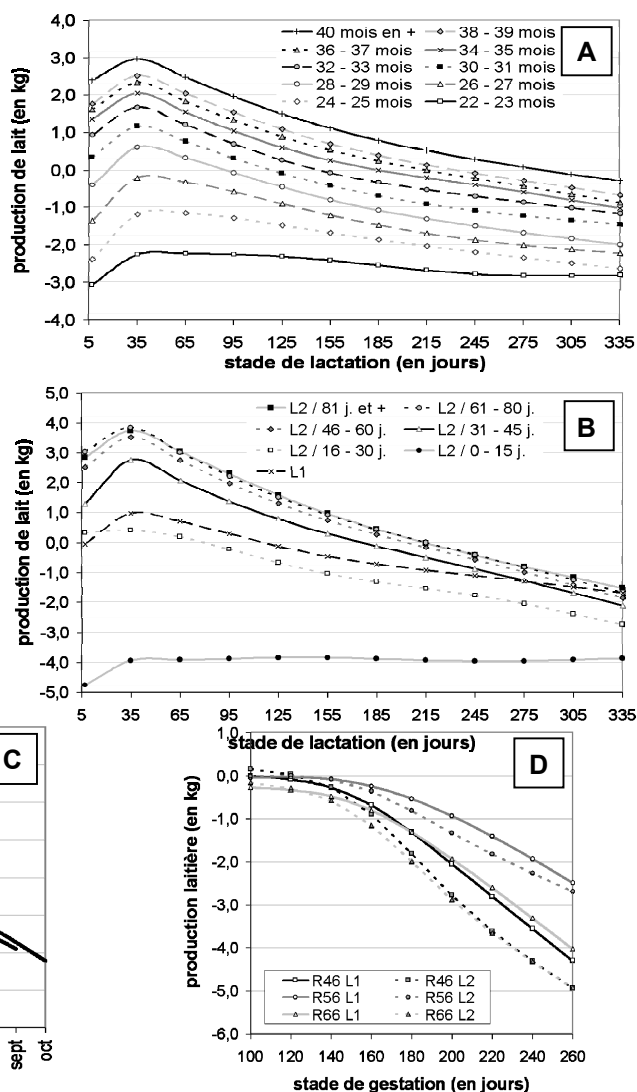
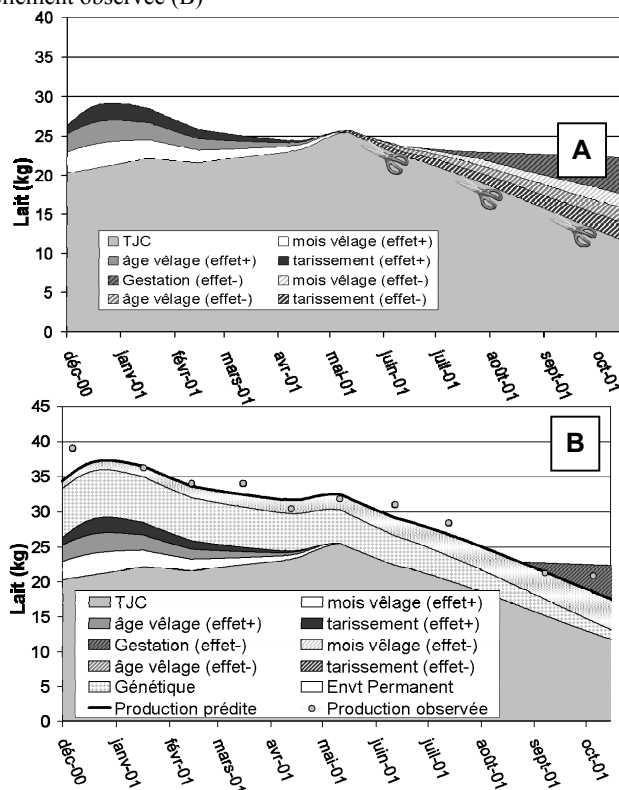


Figure 2 Effet de l'âge au vêlage (A), de la durée de tarissement (B), du mois de vêlage (C) et de la gestation (D) sur la quantité de lait (en kg) en fonction du stade de lactation (A, B et C) ou de gestation (D). (A = Montbéliarde 1^{ère} lactation, B = Holstein 1^{ère} et 2^{ème} lactation, C = Holstein 2^{ème} lactation, D = Montbéliarde (R46), Normande (R56) et Holstein (R66), 1^{ère} et 2^{ème} lactation)

A travers l'analyse des courbes telles que celles de la figure 2, il est possible de quantifier l'impact de facteurs de variation tels que le rang de lactation, l'âge, le mois de vêlage, la durée de tarissement, la gestation sur la quantité de lait ou le TB, le TP et les SCS. Les principales conclusions de ces analyses (Leclerc, 2008) ont montré que l'effet du mois de vêlage (figure 2C) est prééminent pour les caractères quantité de lait et TB mais affecte peu le TP et les SCS. L'effet de la gestation (figure 2D) se fait lui particulièrement ressentir sur la quantité de lait lorsque le stade de gestation dépasse 200 jours. L'analyse des effets de l'âge au vêlage et de la durée de tarissement a permis de mettre en évidence le caractère fortement pénalisant des vêlages précoces et des durées de tarissement très courtes qui modifient de façon importante la forme de la courbe de lactation.

Autre élément du modèle d'évaluation génétique sur les contrôles élémentaires, l'effet TJC peut être utilisé comme indicateur de la conduite du troupeau puisqu'il caractérise les effets d'environnement à court terme. Deux applications peuvent ainsi être envisagées : d'une part, la prédiction de l'effet TJC pour ensuite prévoir la production des mois futurs et permettre ainsi d'adapter la conduite du troupeau en fonction des besoins de l'exploitation ; d'autre part, l'analyse de l'effet TJC comme élément de suivi technique du troupeau à travers la comparaison des effets TJC prédits avec ceux réalisés. La prédiction de futurs effets TJC est donc un élément indispensable à leur valorisation à des fins d'appui technique. Différentes méthodes de prédiction basées sur l'analyse des tendances observées les années précédentes comme celles de Mayeres *et al.* (2004, en Belgique) ou de Koivula *et al.* (2007, en Finlande),

Figure 3 : prédiction de la courbe de production de la 2^{ème} lactation d'une vache Montbéliarde en tenant compte du troupeau (effet TJC prédit) et des effets qui lui sont propres (âge et mois de vêlage, durée de tarissement, gestation) (A) et des effets génétiques et d'environnement permanent estimés à partir des données de la 1^{ère} lactation et confrontée à la production réellement observée (B)



conduisent à des résultats prometteurs. Les corrélations entre effets TJC prédits et effets TJC observés a posteriori sont de l'ordre de 0.70 à 0.85 suivant les caractères analysés.

La simplicité d'interprétation et la flexibilité d'utilisation du modèle contrôles élémentaires français, qui à travers une somme d'effets d'environnement (troupeau, race, région, rang de lactation, âge et mois de vêlage, etc) comme l'illustre la figure 3A) et d'effets propres à la vache (caractéristiques génétiques et non génétiques) permet de reconstituer la courbe de production de l'animal (figure 3B) offre de nombreuses perspectives. Le développement de nouveaux outils d'appui technique qui intégreraient d'une part, les éléments d'analyses de la conduite du troupeau, mais pourraient également s'appuyer sur des prédictions individuelles est envisagé. Grâce à un enrichissement mutuel des bases de données à finalité génétique d'une part et technique d'autre part, il devrait être possible de mieux exploiter les données recueillies et d'apporter des réponses plus pertinentes aux besoins des éleveurs, dans un contexte économique et sociétal en perpétuelle évolution.

CONCLUSION

La mise en œuvre du modèle contrôles élémentaires a longtemps été repoussé en France à cause de priorités différentes (évaluation sur les caractères fonctionnels) et suite à de nombreuses difficultés techniques, notamment d'ordre informatique. Son officialisation devrait intervenir d'ici la mi-2010, si les tests réalisés en vue de la prise en compte des données françaises dans les évaluations internationales sont concluants.

Le modèle contrôles élémentaires, en prenant simultanément en compte l'ensemble des facteurs spécifiques au troupeau et à l'animal pour un jour de contrôle donné, offre des perspectives multiples, qui dépassent largement le champ de la génétique. Ces travaux ouvrent aussi la voie à des collaborations avec l'ensemble des professionnels gravitant autour de la filière laitière, afin de mieux appréhender l'aspect multidimensionnel de la production laitière.

Ce travail, réalisé dans le cadre de l'UMT INRA - Institut de l'élevage « évaluation génétique des bovins », a été soutenu par le ministère de l'agriculture à travers l'action innovante UTILEG.

Druet, T., Jaffrézic, F., Boichard, D., Ducrocq, V., 2003. *J. Dairy Sci.*, 86, 2480-2490

Druet, T., Jaffrézic, F., Ducrocq, V., 2005. *Genet. Sel. Evol.*, 37, 257-271

Jamrozik, J., Schaeffer, L.R., Dekkers, J.C.M., 1997. *J. Dairy Sci.*, 80, 1217-1226

Koivula, M., Nousiainen, J.I., Nousiainen, J., Mäntysaari, E.A., 2007. *J. Dairy Sci.*, 82, 2563-2568

Leclerc, H., 2008. Thèse de doctorat, AgroParisTech

Leclerc, H., Duclos, D., Barbat, A., Druet, T., Ducrocq, V., 2008. *Animal*, 2, 344-353

Mayeres, P., Stoll, J., Bormann, J., Reents, R., Gengler, N., 2004. *J. Dairy Sci.*, 87, 1925-1933

Meyer, K., Graser H.-U., Hammond, K., 1989. *Lives. Prod. Sci.*, 21, 177-199

Ptak, E., Schaeffer, L.R., 1993. *Lives. Prod. Sci.*, 34, 23-34

Rupp, R., 2000. Thèse de doctorat, INA P-G

Swalve, H.H., 1998. *WCGALP*, 23, 295-302

White, I.M.S., Thompson, R., Brotherstone, S., 1999. *J. Dairy Sci.*, 82, 632-638