



HAL
open science

Evaluation génétique des caractères de fertilité femelle chez les bovins laitiers.

Didier Boichard, Anne Barbat, Marie-Madeleine Briend

► **To cite this version:**

Didier Boichard, Anne Barbat, Marie-Madeleine Briend. Evaluation génétique des caractères de fertilité femelle chez les bovins laitiers.. Association pour l'Etude de la Reproduction Animale, Journée Reproduction, 2002, Paris, France. hal-02831243

HAL Id: hal-02831243

<https://hal.inrae.fr/hal-02831243>

Submitted on 7 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



RESUME - Une évaluation génétique des taureaux laitiers sur la fertilité post-partum de leur filles est mise en place depuis juin 1998. Elle repose sur l'analyse de près de 36 millions d'inséminations artificielles réalisées depuis 1993 dans les troupeaux soumis au contrôle laitier. Le critère choisi est le résultat (succès ou échec) à chaque insémination. Son héritabilité est faible (1 à 2%) mais sa variabilité génétique est importante (l'écart type génétique est de 5 points). La corrélation génétique entre fertilité mesurée chez la génisse et en post partum est de 0,5, montrant que ces caractères ne sont donc pas identiques. La fertilité femelle apparaît indépendante de la fertilité mâle. La corrélation génétique avec la production, mesurée en début de lactation, est défavorable (-0,3 à -0,5) de sorte que qu'une sélection orientée uniquement vers la productivité laitière dégrade probablement le taux de réussite de -0,3 à -0,5 point par an.

Le modèle d'évaluation est un modèle bicaractère, considérant le taux de réussite des génisses et des vaches simultanément. Les taureaux sont évalués à partir des performances de leurs filles et petites-filles, après ajustement pour les autres principaux effets (troupeau, année, parité, mois, jour, intervalle mise bas insémination, âge, inséminateur, taureau utilisé pour l'accouplement) et de nombreuses interactions. L'index d'un taureau est diffusé si sa précision atteint 0,5, ce qui correspond à environ 120 inséminations post partum sur ses filles. Cet index est ensuite combiné à ceux des autres caractères pour constituer l'index de synthèse global. Depuis 2001, dans cet index global, la fertilité femelle a un poids de 0,125 contre 0,4 pour la productivité laitière, ce qui doit permettre de stopper à terme toute dégradation.

Enfin, cette évaluation génétique fournit divers sous-produits potentiellement utiles pour d'autres applications.

INTRODUCTION

Jusqu'au milieu des années 90, la sélection des bovins laitiers a surtout visé à augmenter la productivité laitière, la richesse du lait et la morphologie de la mamelle. Mais depuis une dizaine d'années, dans un contexte de limitation des coûts de production, les caractères dits fonctionnels, comme la longévité au sens large et ses principales composantes comme la fertilité, ont pris une importance économique croissante. Ce constat est d'autant plus vrai que certains de ces caractères sont génétiquement et défavorablement associés à la production, de sorte qu'ils sont dégradés sous l'effet de la sélection laitière. L'objectif de sélection a donc été progressivement adapté pour prendre en compte de nouveaux caractères fonctionnels, en vue de ralentir, voire d'inverser leur évolution.

Un tel changement en profondeur n'est pas instantané. Il nécessite l'enregistrement des données phénotypiques, l'évaluation des reproducteurs, l'application d'une pression de sélection et la procréation d'une génération issue de ces reproducteurs sélectionnés, avant que l'effet de cette sélection ne puisse être observé. La première phase est l'enregistrement systématique et la gestion centralisée de ces données. A partir de ces données, l'évaluation génétique permet de caractériser et de classer les reproducteurs, de mesurer les évolutions passées dans les populations et de prévoir leurs évolutions futures.

Ainsi, depuis 1995, la base de données nationale s'est progressivement enrichie de données diverses, et en particulier des données d'insémination artificielle (IA). Puis des évaluations génétiques ont été mises en place pour différents caractères fonctionnels : longévité fonctionnelle (Ducrocq, 1997), comptages de cellules somatiques (Rupp et Boichard, 1997), fertilité femelle (Boichard et al, 1998), conditions de vêlage et de naissance (2000), mortalité (en cours). Cet article présente les caractéristiques de l'évaluation génétique pour la fertilité mise en place depuis juin 1998.

1. DEFINITION DU CARACTERE

1.1 Données de base

Tableau 1. Effectifs d'IA analysées à l'évaluation d'octobre 2002

Race	IA sur génisses	IA post partum
Holstein	6 891 949	20 142 326
Normande	1 221 303	3 131 066
Montbéliarde	1 130 362	2 981 900

Les données d'IA réalisées depuis 1993 dans les troupeaux au contrôle laitier sont collectées dans la base de données du Centre de Traitement de l'Information Génétique de l'INRA. Ces données brutes se limitent à l'identification de la vache inséminée, du taureau utilisé, de l'inséminateur réalisant l'acte, la date de l'IA, ainsi que diverses données optionnelles comme l'utilisation de semence fraîche ou congelée, d'un traitement hormonal, d'une semence fractionnée... Cette information brute est enrichie avec les données d'identification et de contrôle laitier, en particulier avec les dates de mise bas pour construire différents indicateurs de fertilité. Le tableau 1 présente les effectifs d'IA réalisées avant le 1^{er} juin 2002 sur des femelles de père connu, et incluses dans l'évaluation génétique des taureaux d'octobre 2002.

1.2 Choix du caractère

L'étape suivante est la définition du caractère à sélectionner, choisi sur des critères biologiques et génétiques.

Parmi les divers critères de mesure de la fertilité et de la fécondité couramment utilisés en gestion technique, la plupart ont des propriétés peu satisfaisantes pour le généticien : certains, comme l'intervalle entre mise bas, ne sont pas disponibles pour tous les animaux ; d'autres, comme le nombre d'IA par fécondation, ou l'intervalle 1^{ère} - dernière IA, dépendent de la politique de l'éleveur et du potentiel laitier de la vache : une bonne femelle vide sera réinséminée tandis qu'une femelle plus faible productrice, dans les mêmes conditions, sera plus facilement réformée. Ces problèmes conduisent à des biais difficiles à corriger dans l'évaluation génétique. Au contraire, dès lors que l'insémination est réalisée, l'objectif est toujours d'en maximiser le taux de réussite, ce qui limite les sources de biais.

D'autre part, ces différents critères correspondent à différents caractères qui n'ont pas tous la même importance génétique. En première approche, deux composantes de la fécondité, d'une part l'aptitude à ovuler et à exprimer un comportement d'oestrus, d'autre part l'aptitude à développer et maintenir une gestation, peuvent être croisées avec les deux stades physiologiques rencontrés chez la génisse et la vache en lactation, pour définir un minimum de quatre caractères femelles : la précocité de la génisse, la fertilité de la génisse, la vitesse de reprise d'activité sexuelle post partum et la fertilité post partum. La situation chez la génisse n'apparaissant ni limitante, ni dégradée, la sélection doit donc se concentrer sur les performances post partum. D'autre part, au cours des années 90, la fertilité à l'IA apparaissait plus limitante que la vitesse de reprise d'activité sexuelle et ce, pour les raisons suivantes : a) la fertilité est plus opposée à la productivité laitière et a été plus sérieusement dégradée au cours des 20 dernières années que la reprise d'activité sexuelle ; b) c'est la composante la plus déterminante de l'intervalle entre mise bas ; c) seul critère mesurable à grande échelle pour estimer la reprise d'activité sexuelle, l'intervalle mise bas 1^{ère} insémination est dépendant de la politique de l'éleveur : si l'éleveur retarde volontairement la première insémination de ses vaches les plus fortes productrices, il renforce l'opposition apparente entre les deux caractères ; d) enfin, le taux de réussite à l'IA permet de caractériser à la fois la fertilité femelle et la fertilité mâle (la fécondance du sperme du taureau), avec une analyse simultanée des deux caractères et une procédure de diagnostic unifiée.

Pour toutes ces raisons, **le taux de réussite à l'IA chez la femelle en post partum** a donc été choisi comme caractère de fertilité femelle à inclure dans l'objectif de sélection. Parallèlement, l'intervalle mise bas 1^{ère} IA fait l'objet d'études complémentaires. La dégradation régulière de ce caractère pourrait nous conduire à l'évaluer prochainement.

1.3 Détermination du résultat de chaque insémination

Une IA n'est utilisable dans l'analyse que si l'on connaît son résultat, tout au moins en probabilité. Cette opération n'est pas triviale et les règles appliquées doivent être aussi justes que possible, alors qu'elles sont définies avec une information très limitée. Il convient cependant de moduler les conséquences d'erreurs éventuelles. En effet, le caractère étant très peu héritable, une donnée individuelle, même connue sans erreur, ne fournit qu'une information limitée. La valeur génétique des taureaux est prédite à partir de données nombreuses observées chez ses filles, ce qui réduit l'impact d'erreurs aléatoires. Les règles suivantes sont utilisées :

- si l'insémination est suivie d'une mise bas, l'insémination fécondante est déterminée par l'insémination la plus proche de la date de fécondation théorique, dans un intervalle de plus ou moins 15 jours, la date théorique étant fonction de la durée de gestation de référence (comprise entre 281 et 291 jours selon la race). Toute insémination antérieure à l'insémination fécondante est déclarée non fécondante. Toute insémination postérieure à l'insémination fécondante, ou postérieure à la date de fécondation de référence plus 15 jours, est éliminée. Si deux inséminations sont réalisées dans un intervalle de 3 jours ou moins, seule la première est conservée.
- si l'insémination n'est pas suivie d'une mise bas, la dernière insémination connue est supposée fécondante. Pour les autres IA, les règles précédentes s'appliquent. De ce fait, dans ces conditions, le caractère s'apparente à un taux de non retour. Cependant, lorsque la durée de lactation observée est supérieure à 280 jours, la vache est

vraisemblablement non gestante et la dernière insémination est donc supposée non fécondante. Enfin, les IA réalisées moins de trois mois avant l'indexation sont éliminées, la prédiction du résultat étant trop aléatoire. Ces règles ne sont exactes qu'en probabilité et ne prennent pas en compte des événements mal ou non renseignés dans la base de données, comme les avortements ou les vaches réformées gestantes.

2. DETERMINISME GENETIQUE

2.1 Paramètres génétiques de la fertilité

Tableau 2. Estimations des paramètres génétiques du taux de réussite à l'IA chez la génisse ou post partum

	Holstein	Normande	Montbéliarde
Nb pères	1910	433	385
Nb vaches	691 947	95 028	78 880
h^2 génisse	0,010	0,029	0,062
h^2 post partum	0,013	0,012	0,011
corr. génétique	0,52	0,85	0,89

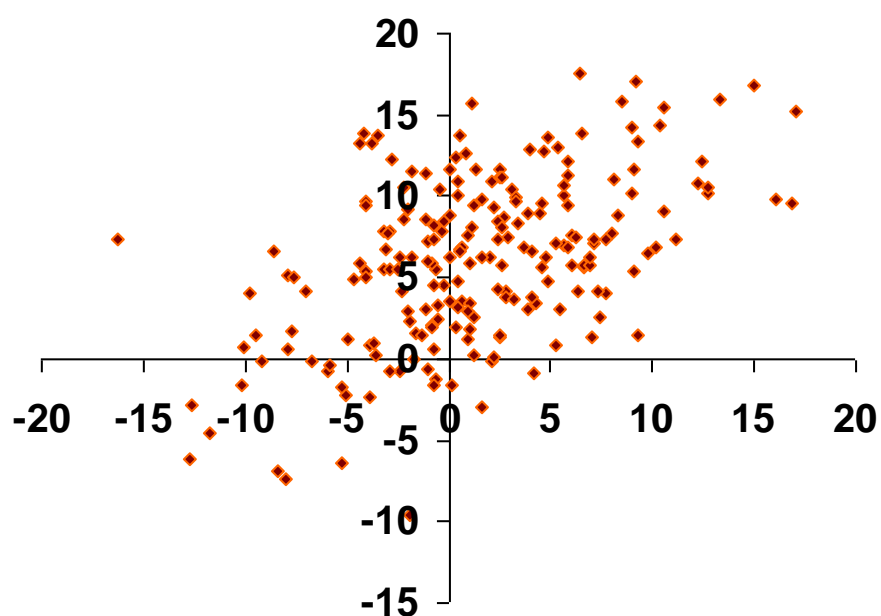
Le taux de réussite à l'IA post partum a une héritabilité comprise entre 1 et 2% (tableau 2). Cette valeur très faible, en accord avec la littérature (Janson, 1980 ; Jansen, 1986 ; Humblot et Denis, 1986 ; Weller et Ron, 1992 ; Boichard et Manfredi, 1994) indique que la sélection sur ce caractère est difficile et surtout coûteuse. Mais contrairement à l'idée couramment répandue, héritabilité faible ne signifie pas absence de variabilité génétique. Ainsi, l'écart type génétique est d'environ 5 points de réussite à l'IA, ce qui offre des possibilités importantes d'amélioration et surtout de dégradation.

Le taux de réussite à l'IA est très fortement lié génétiquement aux autres critères de fécondité post partum (intervalles entre mise bas, nombre d'IA par gestation...), illustrant la redondance entre ces caractères. Par contre, la corrélation génétique avec l'intervalle mise bas 1^{ère} IA, estimée en races Montbéliarde (-0,06), Normande (-0,02) et Holstein (-0,11), est très faible, suggérant une quasi indépendance génétique entre taux de réussite et reprise d'activité sexuelle.

L'héritabilité du taux de réussite étant faible, se pose le problème de la quantité d'information mobilisable et donc de la précision des index, facteur essentiel de l'efficacité de la sélection. Les performances individuelles ont une valeur prédictive très faible. En conséquence, seuls les taureaux peuvent être raisonnablement caractérisés, sur la base de leur descendance. Pour les évaluer, toutes les IA de leurs filles peuvent être prises en compte, et pas seulement les IA premières. Comme la répétabilité du taux de réussite est faible, de l'ordre de 5%, cette stratégie apporte un complément d'information appréciable, même si elle conduit à un modèle plus complexe pour prendre en compte la sélection des données. Les inséminations sur génisses constituent une autre source d'information disponible précocement. Toutefois, le taux de réussite chez la génisse et le taux de réussite post partum constituent deux caractères partiellement différents, avec une corrélation génétique proche de 0,5 en race Holstein (tableau 2, figure 1). Des estimations plus élevées sont obtenues en races Normande et Montbéliarde. Bien que leur degré de précision reste limité, ces estimations sont logiques et suggèrent que le taux de réussite en génisse et le taux de réussite post partum sont d'autant plus différents que le potentiel laitier est élevé. Les estimations de la littérature (Janson, 1981 ; Hansen *et al*, 1983 ; Jansen *et al*, 1987 ; Oltenacu *et al*, 1991 ; Weller et Ron, 1992) sont également comprises entre 0,3 et 0,7. En supposant une valeur de 0,5, cette corrélation est suffisante pour que la prise en considération la fertilité des génisses comme prédicteur de la fertilité post partum soit utile et profitable, mais trop différente de 1 pour supposer qu'il s'agit du même caractère. Par contre, bien que sa répétabilité soit faible, le taux de réussite post partum constitue le même caractère au cours des lactations successives.

Il n'existe aucune relation entre fertilité mâle et fertilité femelle, c'est-à-dire entre fécondance de la semence d'un taureau et fertilité de ses filles, de sorte que les 400 IA réalisées par chaque taureau mis en testage ne peuvent pas servir à prédire la fertilité de ses filles (Jansen, 1986 ; Rahejan *et al*, 1989 ; Boichard et Manfredi, 1994)

Figure 1. Relation entre index fertilité chez la génisse (ordonnée) et index fertilité post partum (abscisse) Chaque point correspond aux index d'un taureau largement diffusé (208 taureaux, 1 600 000 filles)



2.2 Relation avec la production

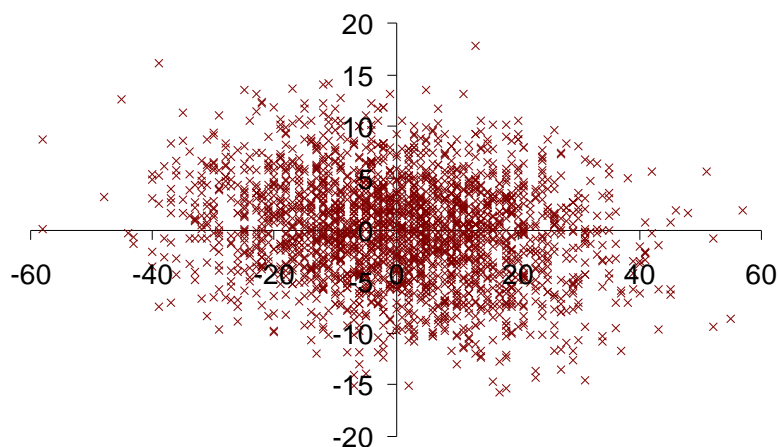
L'opposition entre taux de réussite et production dépend fortement de la durée de lactation considérée. A partir du 4^{ème} mois, la gestation a un effet dépressif croissant et marqué sur la lactation. D'autre part, la durée de lactation des vaches fécondées précocement, limitée par la fin de la gestation, est généralement inférieure à 305 jours, ce qui induit une opposition artificielle et forte entre fertilité et production de référence. L'opposition réelle entre fertilité et production doit donc être estimée en début de lactation, à partir des 3 ou 4 premiers contrôles laitiers. Même dans ces conditions, la littérature est assez homogène et la corrélation génétique est négative, modérée (Janson et Andreasson, 1981 ; Hansen *et al*, 1983 ; Van Arendonk *et al*, 1989) à forte (Berger *et al*, 1981 ; Boichard et Manfredi, 1994) selon les auteurs. Nos estimations obtenues sur les populations récentes sont assez modérées, de l'ordre de -0,3 (tableau 3). Par contre, les corrélations phénotypiques sont toujours plus faibles que les corrélations génétiques. Les valeurs apparemment très faibles, de l'ordre de -0,05, sont dues essentiellement au caractère très aléatoire du résultat de chaque IA prise individuellement, mais elles traduisent cependant une opposition intra race bien réelle estimée à -1 point de réussite pour 300 à 400 kg de lait en plus par lactation.

Tableau 3. Estimations des corrélations génétiques entre taux de réussite et production laitière

	Holstein	Normande	Montbéliarde
Quantité de lait	-0,32	-0,11	-0,32
Quantité de matière grasse	-0,29	-0,08	-0,35
Quantité de matière protéique	-0,25	-0,11	-0,35

Sur la base de ces estimations, on peut penser que l'opposition entre production et fertilité s'est traduite par une dégradation d'environ -0,3 à -0,5 point de réussite chaque année sous l'effet de la sélection laitière. Par ailleurs, les estimations sur les mêmes populations françaises montrent que la production en 100 jours semble génétiquement indépendante de l'intervalle mise bas 1^{ère} IA en races Normande et Montbéliarde, tandis qu'un léger antagonisme est observé en race Holstein, plus marqué pour les quantités de lait (0,21) et de matière grasse (0,17) que pour la matière protéique (0,08). La bibliographie mentionne généralement un antagonisme modéré. Avec ces paramètres, on peut supposer que l'intervalle mise bas 1^{ère} IA s'est allongé de +0,3 jour par an en race Holstein.

Figure 2. Relation entre index production de matière protéique (abscisse) et index taux de réussite (ordonnée). Chaque point correspond aux taureaux d'IA Holstein testés pour les 2 caractères.



3. EVALUATION GENETIQUE

3.1 Modèle

Compte tenu des paramètres génétiques estimés, deux caractères distincts sont considérés conjointement dans une analyse bicaractère, la fertilité des génisses et la fertilité post partum.

L'héritabilité étant très faible, le modèle choisi est un modèle de type père plus grand-père maternel, ce qui signifie que la valeur des mâles est prédite directement à partir des performances de leurs filles et petites-filles. Les parentés entre taureaux sont prises en compte.

Le résultat (0/1) de chaque IA post partum est analysé intra race de vache. En plus des effets génétiques d'intérêt (l'effet du père et du grand-père maternel de la vache), le modèle prend en compte les effets suivants : troupeau, année, inséminateur, mois d'IA, jour de la semaine, numéro de lactation et intervalle mise bas IA, race du taureau et taureau utilisé pour l'accouplement. De nombreuses interactions avec l'année et la région sont également estimées. L'effet permanent de la vache est estimé pour prendre en compte la répétabilité et la sélection des données au cours du temps.

Un modèle analogue est considéré pour la fertilité des génisses, dans lequel l'âge à IA remplace l'intervalle mise bas IA.

Les paramètres génétiques considérés sont les suivants : 2 et 5% pour l'héritabilité et la répétabilité des deux caractères, 0,5 pour leur corrélation génétique, 1% pour la variance taureau.

L'analyse du taux de réussite, caractère tout-ou-rien, est réalisée avec un modèle linéaire. Bien qu'un modèle à seuil (Gianola et Foulley, 1983) soit théoriquement mieux adapté, Weller et Ron (1992) et Boichard et Manfredi (1994) ont montré que pour la fertilité, les deux approches donnent des résultats virtuellement identiques, ce qui s'explique par le fait que l'incidence est proche de 0,5 et que la variance résiduelle est donc assez stable.

Bien que prédit à partir des deux types de données, chez la génisse et la vache post partum, cet index caractérise la fertilité post partum. Sous-produit de l'analyse, l'index de fertilité des génisses est calculé mais n'est pas publié, pour éviter toute confusion. En cohérence avec les autres index fonctionnels, l'index édité est exprimé en unité d'écart type génétique. Il varie donc dans une gamme de l'ordre de -3 à +3. Une valeur de +1 correspond à une supériorité génétique du taureau de +5% de réussite à l'IA, et donc un effet moyen transmis à ses filles de +2,5%. L'index n'est publié que si sa précision (ou carré de la corrélation entre valeur génétique estimée et valeur vraie, estimé théoriquement à partir de la quantité d'information disponible) est suffisante, le seuil étant fixé, comme pour les autres caractères fonctionnels, à 0,5. En moyenne, ce seuil est atteint avec 120 IA sur vaches, ou 100 IA sur vaches plus 100 IA sur génisses. Courant pour les caractères de production, un CD de 0,7 demande environ 400 IA post partum et n'est généralement pas atteint durant la phase de testage.

Ces évaluations génétiques, diffusées pour la première fois en juin 1998, sont calculées deux fois par an en juin et en octobre.

3.2 Evolution génétique

La corrélation génétique entre production et fertilité étant négative, la majorité des taureaux très laitiers ont des évaluations de fertilité femelle négatives (tableau 4, figure 2).

Tableau 4. Evolution du niveau de fertilité femelle (% réussite) des taureaux d'IA en fonction de leur niveau laitier (INEL)

Classe d'INEL	Holstein	Normande	Montbéliarde
Tous	-0,3	-0,1	-0,0
5-15	-0,2	0,9	0,3
25-35	-1,2	-0,6	-0,7
35-45	-1,5	-2,0	-1,2
>45	-2,4	0,2	-2,2

Taureaux d'IA nés de 1987 à 1991

D'une façon générale, mais plus particulièrement lorsque les caractères sont opposés, une sélection par seuils indépendants est à proscrire, au profit d'un index global pondérant chaque caractère par sa valeur économique.

Tableau 5. Niveau génétique sur la quantité de matière protéique (kg) et la fertilité femelle (% réussite) des 10% meilleurs taureaux nés depuis 1987 en fonction de l'objectif de sélection

Objectif	Réponse	Holstein
ISU 1993	QMP	32
	FER	-2,0
ISU 2001	QMP	27
	FER	+0,5

En Juin 2001, le critère de sélection recommandé dans chaque race (dit ISU) a été redéfini par les UPRA. Dans cet index ISU, les caractères fonctionnels ont un poids global de 50%, dont 12,5% pour la fertilité femelle. Comme le montre le tableau 5, cet objectif stoppera (à terme) toute dégradation de la fertilité au prix d'une certaine réduction de progrès laitier.

4. EFFETS NON GENETIQUES

Parallèlement aux index, l'évaluation génétique fournit des estimations pour l'ensemble des effets du modèle. Ainsi, la fertilité décroît quasi linéairement avec le numéro de lactation (-1 à 2 % par lactation) ; elle est généralement minimale en hiver avec un creux d'environ -2 à -5% suivant les régions ; elle est très faible juste après le vêlage et s'accroît graduellement jusqu'à 60 jours post partum, puis se stabilise ensuite, sauf en race Holstein où elle continue à augmenter lentement ; elle présente un creux de -2 à -4% le lundi quand l'activité d'IA du dimanche est réduite ; enfin, le modèle permet d'estimer les effets taureau et inséminateur. Ces effets qui reflètent la qualité de production et de mise en place de la semence sont transmis aux centres d'insémination, comme outil de suivi de leur activité et de maîtrise de la qualité. Comme pour les index, ces effets constituent un progrès important par rapport aux moyennes brutes de taux de non retour, avec lesquelles la corrélation ne dépasse pas 0,6. En effet, les moyennes brutes sont affectées par certains effets de milieu, en particulier l'âge des femelles inséminées, le mois et le rang d'insémination, tandis que les estimées du modèle prennent en compte ces différents effets. Dans le futur, l'effet taureau-année pourra être remplacé par l'effet éjaculat lorsque cette information sera disponible à grande échelle, permettant alors un suivi fin du processus de production de semence.

CONCLUSION

La mise à disposition d'index pour un nombre croissant de caractères (plus de 25 actuellement) illustre une modification progressive mais profonde du travail de sélection. La mise en place de l'ISU disponible pour les mâles comme pour les femelles est un choix majeur d'objectif équilibré et durable. Il ne fournira une réponse réelle aux problèmes de fertilité qu'à relativement long terme (plus de 10 ans). Pour accélérer ce processus, une sélection volontariste à l'aide de marqueurs génétique est en cours.

REFERENCES

- BERGER, P.J., SHANKS, R.D., FREEMAN, A.E., LABEN, R.C., 1981.** J. Dairy Sci., 64, 114-122
BOICHARD, D., MANFREDI E., 1994. Acta Agric. Scand., Sect A, 44, 138-145
BOICHARD, D., BARBAT A., BRIEND M., 1998. 5^{ème} Renc Rech Rum, 103-106

DUCROCQ, V., 1997. 4^{ème} Renc Rech Rum, 215-218
GIANOLA, D., FOULLEY, J.L., 1983. Genet. Sel. Evol, 15, 201-224
HANSEN, M. 1979. Livest. Prod. Sci., 6, 309-319
HANSEN, L.B., FREEMAN, A.E., BERGER, P.J., 1983. J Dairy Sci., 66, 306-314
HUMBLOT, P., DENIS, J.B. 1986. Livest. Prod. Sci., 14, 139-148
JANSEN, J. 1986. Livest. Prod. Sci., 15, 153-164
JANSEN, J., VAN DER WERF, J, DE BOER, W, 1987. Livest. Prod. Sci., 17, 337-350
JANSON, L. 1980. Acta Agric. Scand., 30, 427-436
JANSON, L. 1981. Acta Agric. Scand., 31, 299-312
JANSON, L., ANDREASSON, B., 1981. Acta Agric. Scand., 31, 313-322
OLTENACU, P., FRICK, A., LINDHE, B., 1991. J. Dairy Sci., 74, 264-268
RAHEJA, K.L., BURNSIDE, E.B., SCHAEFFER, L.R., 1989. J. Dairy Sci., 72, 2679-2682
RUPP, R, BOICHARD, D., 1997. 4^{ème} Renc Rech Rum, 211-214
VAN ARENDONK, J.A.M., HOVENIER, R., DE BOER, W. 1989. Livest. Prod. Sci., 21, 1-12
WELLER, J.I., RON, M., 1992. J. Dairy Sci., 75, 2541-2548