

Bilan et paramètres génétiques des mammites cliniques collectées par le contrôle laitier dans les races Montbéliarde, Normande et Prim'Holstein

B. BONAÏTI (1), S. MOUREAUX (2), S. MATTALIA (2)

(1) INRA, Station de génétique quantitative et appliquée, 78352 Jouy-en-Josas, France

(2) Institut de l'Élevage, INRA-SGQA, 78352 Jouy-en-Josas, France

RESUME - La sélection pour la résistance aux mammites, réalisée en France depuis 1997 avec les comptages cellulaires du lait pourrait être améliorée en utilisant les informations collectées sur les mammites cliniques. L'article dresse un premier bilan des informations disponibles. Pour la campagne 2003, 30 à 40 % des élevages du contrôle laitier collectent les mammites cliniques. La production de lait, le score cellulaire moyen de la lactation et une variable mammitaire (présence ou absence d'une mammitaire clinique durant les 150 premiers jours de lactation) sont analysés conjointement selon un modèle mixte avec en particulier les effets du père et du grand-père maternel ainsi qu'un effet troupeau année. On utilise un modèle linéaire pour les deux premières variables et un modèle à seuil pour la variable mammitaire en s'appuyant sur la méthodologie de Foulley *et al.*, (1983). L'héritabilité du score cellulaire varie de 0,15 à 0,22 selon la race. Celle des mammites cliniques est de 0,06. La corrélation génétique entre score cellulaire et mammitaire clinique est de 0,73 pour la Prim'Holstein et d'environ 0,60 pour les deux autres races. On observe un antagonisme génétique avec le lait plus marqué pour les mammites cliniques que pour le score cellulaire.

Survey and genetic parameters of clinical mastitis recorded in dairy farms through milk recording scheme for Montbéliarde, Normande et Prim'Holstein breeds

B. BONAÏTI (1), S. MOUREAUX (2), S. MATTALIA (2)

(1) INRA, Station de génétique quantitative et appliquée, 78352 Jouy-en-Josas, France

SUMMARY - Selection for mastitis resistance in French dairy cattle has only relied on somatic cell counts since 1997. It could be improved by using clinical mastitis records (CM). This paper gives a presentation of the available data. In 2003, 30 to 40 % of milk recorded dairy herds already participated in CM recording. Three traits, milk yield, lactation somatic cell score (LSCS) and clinical mastitis (defined as the presence or absence of mastitis during the first 150 days of lactation) were jointly analysed with a mixed sire and maternal grand sire model. The analysis relied on a linear model for the first two quantitative traits and a threshold model for clinical mastitis, using the methodology of Foulley *et al.* (1983). The heritability of LSCS varied between 0.15 and 0.22 for the three breeds. Heritability of CM was 0.06. Genetic correlation estimations between LSCS and CM were 0.73 for Prim'Holstein and about 0.60 for the two other breeds. The genetic antagonism with milk yield was higher for CM than for LSCS.

INTRODUCTION

L'analyse génétique de la résistance aux mammites a fait l'objet, durant les 10 dernières années, de nombreux travaux qui ont permis d'évaluer l'intérêt d'une sélection des races laitières françaises pour la résistance aux mammites (Colleau et Le Bihan-Duval, 1995), de préciser le déterminisme génétique (héritabilité et corrélations génétiques avec les autres caractères), de décrire les relations entre les mammites cliniques et les comptages cellulaires, et de débiter la recherche de QTL et de marqueurs (Rupp et Boichard, 1999, 2001, 2003). Aujourd'hui, la sélection repose, essentiellement sur l'enregistrement des comptages cellulaires somatiques (CCS) individuels lors des contrôles laitiers mensuels. C'est un critère de sélection performant par son héritabilité proche de 0,15 et sa forte corrélation génétique (proche de 0,85) avec un objectif de sélection associant mammites cliniques et sub-cliniques (Rupp et Boichard, 1999 et 2001). L'amélioration de la morphologie de la mamelle participe également à cette sélection. Cependant il existe une opposition génétique avec la production laitière plus forte pour les mammites cliniques que pour les comptages cellulaires (Rupp et Boichard, 1999). Pour cette raison et à cause de l'importance des enjeux économiques et de santé publique pour l'homme (présence de germes pathogènes ou de résidus d'antibiotiques dans le lait) de l'incidence des mammites (Seegers *et al.*, 1997), il est très souhaitable d'améliorer encore le dispositif de sélection en intégrant les données de mammites cliniques dans le calcul des index de

sélection. En effet, la combinaison des deux informations, comptages cellulaires du lait et enregistrement des mammites cliniques, est indispensable pour obtenir une amélioration génétique plus complète de la résistance aux mammites, préciser les mécanismes de résistance, en particulier le déterminisme génétique (QTL, gènes), et préparer l'utilisation raisonnée de la sélection assistée par marqueurs (SAM). Cette intensification de la sélection est réalisée depuis 25 ans par les pays scandinaves qui calculent des index de sélection pour les comptages cellulaires et les mammites cliniques (Heringstad *et al.*, 2000). Pour répondre à ces besoins, l'Institut de l'Élevage et l'INRA ont fait des propositions méthodologiques pour le recueil des mammites cliniques dans les troupeaux (Institut de l'Élevage et INRA, 2003) et France Contrôle Laitier (FCL) a intégré, en 2004, dans son règlement technique une méthode d'enregistrement des mammites cliniques afin de généraliser, standardiser et organiser la collecte des observations que de nombreux syndicats départementaux effectuent déjà depuis plusieurs années avec, notamment, l'intégration de données de mammites cliniques dans les bases régionales des ARSOE mais indépendamment du Système d'Information Génétique national (SIG). Sans attendre la prise en charge définitive de cette nouvelle information par le SIG, des fichiers d'observations ont été transmis par les ARSOE à l'INRA. Cette communication présente un premier bilan des analyses réalisées dans la perspective d'un futur système d'évaluation génétique pour les mammites.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. INFORMATIONS DISPONIBLES AU NIVEAU NATIONAL

Les fichiers disponibles au niveau national donnent des dates de collecte d'événements mammite qui, en l'absence d'une information plus précise, sont considérées comme des dates de mammite. Chaque cas de mammite est associé à un numéro de lactation en fonction des dates respectives de collecte et de début et fin de lactation. En l'absence d'information sur les troupeaux effectivement suivis pour les mammites, nous avons dû adopter une définition arbitraire de l'ensemble des troupeaux "suivis dans le cadre d'un protocole mammite" : ce sont, selon notre définition, les troupeaux présentant une fréquence d'au moins 5 % de lactations concernées par un ou plusieurs cas enregistrés de mammite.

Cette définition permet de calculer la proportion de vaches contrôlées, comme la proportion des vaches du contrôle laitier qui appartiennent à cet ensemble des troupeaux "suivis dans le cadre d'un protocole mammite" (variable contr du tableau 1). Sur l'ensemble des vaches soumises au contrôle laitier, on a, pour la campagne de vêlage 2003 et respectivement pour les 3 races Montbéliarde, Normande et Prim'Holstein, 30, 38 et 39 % des vaches qui sont suivies dans le cadre d'un protocole mammite. Le tableau 1 donne aussi la fréquence des lactations affectées par un ou plusieurs cas de mammite (variable freq du tableau 1) : respectivement 15, 20 et 23 % pour les 3 races et la campagne 2003. Cette fréquence ne concerne que les élevages appartenant à l'ensemble, défini plus haut, des troupeaux "suivis dans le cadre d'un protocole mammite".

Tableau 1 : proportion de lactations bénéficiant d'un enregistrement des cas de mammites (contr en %) et fréquence (freq en %) des lactations affectées par au moins un cas de mammite

Année	Montbéliarde		Normande		Prim'Holstein	
	contr	freq	contr	freq	contr	freq
1995	13	14	20	22	20	24
1996	17	14	19	16	19	21
1997	25	14	26	18	21	22
1998	26	15	27	19	20	23
1999	26	15	29	19	22	23
2000	26	15	29	21	23	24
2001	26	15	29	19	26	21
2002	29	15	37	19	38	22
2003	30	15	38	20	39	23

En 2003, sur les grands départements laitiers (au moins 10 000 vaches au contrôle laitier), les départements effectuant un suivi des mammites au-delà de 50 % de la population sont essentiellement en Bretagne, Pays de Loire (sauf Sarthe et Vendée), Aquitaine et Midi-Pyrénées. Dans les autres régions et parmi les autres grands départements laitiers, seuls 4 départements (Cantal, Jura, Haute-Saône et Saône et Loire) ont un suivi supérieur à 50 %.

Il faut retenir que ces données n'ont pas fait l'objet d'une standardisation nationale de la définition d'un cas de mammite, ce qui interdit de tirer des conclusions à partir de comparaisons inter-régionales ou inter-races. Nous avons aussi une relative incertitude sur les troupeaux effectivement soumis au contrôle des mammites.

1.2. ESTIMATION DES PARAMETRES GENETIQUES

Les données de mammites sont analysées conjointement avec la production laitière (quantité de lait corrigée pour la durée et le numéro de lactation) et le score cellulaire somatique (SCS) de la lactation tel qu'il est défini pour le système national d'indexation laitière (moyenne pondérée des scores cellulaires obtenus à chaque contrôle laitier). La variable mammite est définie comme une variable binaire : "1" si il y a au moins un épisode mammite observé et déclaré avant 150 jours de lactation et "0" sinon. Les données des premières lactations des campagnes 2000 à 2003 sont analysées avec un modèle mixte composé des facteurs de variation suivants : mois de vêlage x campagne x région, classe d'âge x campagne x région, troupeau x campagne, père et grand-père maternel.

En l'absence d'effet milieu maternel, on admet que pour un même taureau, l'effet grand-père maternel est la moitié de l'effet père. L'effet père est supposé aléatoire avec une structure de covariance dépendant directement de la matrice de parenté entre les taureaux en se limitant aux relations de parentés sur la voie mâle (père et grand père maternel). L'effet troupeau x campagne ne peut pas être traité comme un effet fixé parce que le système d'équations sous-jacent à l'estimation des paramètres du modèle n'aurait pas de solution à cause de la nature binaire du caractère mammite et du faible effectif de données par cellule. Pour obtenir des estimations satisfaisantes, il est traité comme un effet aléatoire, en supposant *a priori* une information supplémentaire selon laquelle les effets troupeau x campagne sont distribués avec une variance constante (estimée conjointement avec tous les autres paramètres du modèle) et une covariance nulle pour toutes les combinaisons d'effets, y compris intra troupeau. En race Prim'Holstein, les deux effets mois et âge sont estimés séparément pour chaque combinaison de la campagne et de la région définie selon les zones affectées aux unités de sélection. Il n'y a pas d'effet région pour les deux autres races.

Les cellules troupeau x campagne ont un effectif minimum de 3 lactations. Les pères ont au moins 50 filles ou petites filles (pondérées respectivement par 1 et 0,5). Cet effectif minimum est porté à 200 pour les pères de service. Les observations ne satisfaisant pas ces normes minima sont éliminées. Les effectifs et les performances moyennes sont présentés dans le tableau 2.

Pour les deux variables quantitatives (quantité de lait et score cellulaire), le modèle est un modèle linéaire classique. La troisième variable (présence ou absence de mammite) est analysée selon un modèle à seuil. L'analyse conjointe de ces trois variables est réalisée selon la méthodologie proposée par Foulley *et al.*, (1983). Les composantes de la variance (REML) sont obtenues selon l'algorithme EM et avec un programme de calcul spécialement développé pour cette étude.

Tableau 2 : données utilisées pour l'estimation des paramètres génétiques (MO=Montbéliarde ; NO=Normande ; PH=Prim'Holstein)

	MO	NO	PH
Effectif total	41 174	67 075	333 957
Nombre de pères	70	142	1 037
N. troupeau*campagne	6 720	8 809	40 860
Lait corrigé (kg)	7780	6984	9152
Score cellulaire	2,76	3,00	2,81
Mammites déclarées (%)	8,6	11,6	12,4

1.3. VALEURS GENETIQUES DES TAUREAUX

En race Prim'Holstein, les valeurs génétiques des taureaux sont ensuite calculées pour la variable mammite selon un modèle à seuil (analyse multi variable pour le lait, le score cellulaire et la variable mammite). Les valeurs génétiques des taureaux sont présentées selon l'échelle de la variable sous-jacente du modèle à seuil avec un signe positif pour les taureaux améliorateurs de la résistance aux mammites. Une expression plus explicite est obtenue en remplaçant l'index mammite par l'incidence attendue des mammites sur les filles d'un taureau. Cette incidence est déduite directement de l'index mammite en reprenant les hypothèses du modèle à seuil : distribution normale de la variable sous-jacente, écart-type résiduel égal à 1 et fréquence moyenne des mammites cliniques égale à 12 %. Ces deux expressions de la valeur génétique des taureaux sont comparées aux index de valeur génétique pour le score cellulaire.

2. RESULTATS

Les différents paramètres génétiques sont très homogènes entre les trois races (tableau 3). L'héritabilité se situe entre 0,15 et 0,22 pour le score cellulaire. Elle est seulement égale à 0,06 (Normande et Prim'Holstein) et 0,07 (Montbéliarde) pour les mammites cliniques. On a une relation défavorable entre production de lait et mammite avec une corrélation génétique comprise entre 0,20 et 0,40. La liaison entre production laitière et score cellulaire est proche de zéro, favorable en Montbéliarde et défavorable en Normande. La corrélation génétique entre score cellulaire et mammite clinique varie entre 0,55 (Montbéliarde) et 0,73 (Prim'Holstein). Les corrélations résiduelles (entre les effets résiduels du modèle, c'est-à-dire indépendamment des effets du père, du grand-père maternel et du troupeau) sont très stables entre races. La corrélation résiduelle entre score cellulaire et mammite clinique est proche de 0,30.

Tableau 3 : estimation des paramètres génétiques pour les trois races Montbéliarde (MO), Normande (NO) et Prim'Holstein (PH)

	MO	NO	PH
Héritabilité			
Lait	0,20	0,35	0,29
CCS	0,16	0,15	0,22
Mammite	0,07	0,06	0,06
Corrélation Génétique			
Lait * CCS	-0,10	0,17	0,03
Lait * Mammite	0,42	0,21	0,24
CCS*Mammite	0,55	0,62	0,73
Corrélation résiduelle			
Lait * CCS	-0,14	-0,15	-0,11
Lait * Mammite	-0,07	-0,06	-0,04
CCS*Mammite	0,32	0,26	0,29

Le tableau 4 donne les effectifs de taureaux selon le nombre de leurs filles présentes dans un troupeau collectant les données de mammites. Il n'y a pas de taureaux connus avec plus de 50 filles parmi ceux nés après 1996.

Les figures 1 et 2 présentent les relations entre les index génétiques pour le score cellulaire et les mammites cliniques chez les taureaux de race Prim'Holstein ayant eu plus de 500 filles dans les troupeaux collectant les mammites. On retrouve la forte corrélation génétique entre les deux

caractères. La fréquence des mammites (figure 2) parmi les filles d'un taureau, diminue de façon importante avec l'amélioration de l'index génétique du score cellulaire (valeur positive correspondant à un score faible chez les filles). Il est important de noter que la variabilité résiduelle est élevée. Pour un même index de score cellulaire, on observe un écart de 6 points entre les fréquences de mammites observées entre les descendance de 2 taureaux extrêmes (figure 2).

Tableau 4 : effectifs de taureaux connus avec plus de 50 ou 100 filles pour les trois races Montbéliarde, Normande et Prim'Holstein et selon l'année de naissance

	Montbéliarde		Normande		Prim'Holstein	
	>50	>100	>50	>100	>50	>100
1991	11	11	15	12	62	50
1992	10	9	10	7	60	48
1993	17	14	8	7	39	32
1994	10	9	7	5	58	39
1995	1	0	4	1	35	25
1996	0	0	0	0	8	4

Figure 1 : relation entre l'index mammite clinique et l'index cellule (score cellulaire) pour les taureaux Prim'Holstein ayant plus de 500 Filles

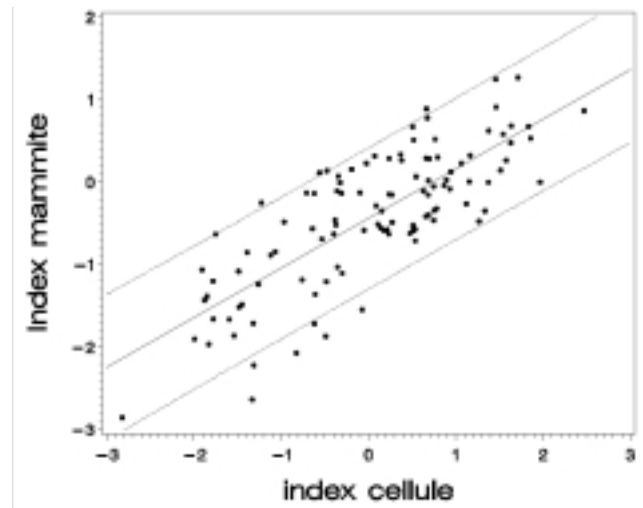
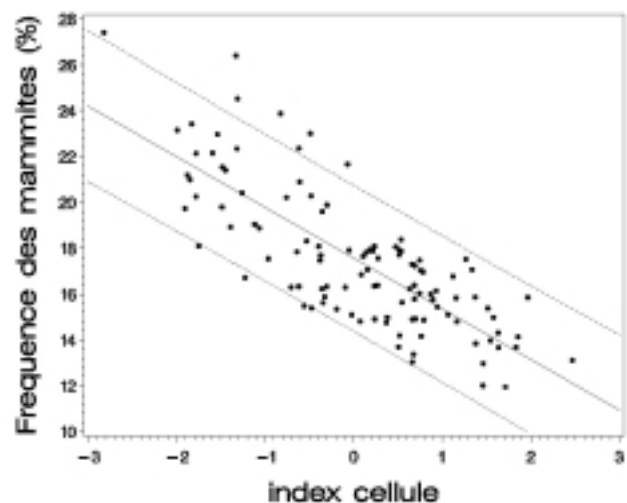


Figure 2 : relation entre la fréquence des mammites cliniques (%) et l'index cellule (score cellulaire) pour les taureaux Prim'Holstein ayant plus de 500 Filles



3. DISCUSSION

Les valeurs de l'héritabilité des mammites cliniques sont plus élevées que l'estimation antérieure de Rupp et Boichard (1999), proche de 0,025, qui était obtenue avec un modèle linéaire classique. Cette amélioration correspond à la relation théorique entre les deux valeurs d'héritabilité obtenues respectivement sur l'échelle de la variable sous jacente continue et sur l'échelle binaire : pour la Prim'Holstein, avec une fréquence des mammites de 12,6 %, le rapport théorique des deux héritabilités est égal à 2,6 (Van Vleck, 1971). Notre résultat est identique aux estimations scandinaves récentes obtenues avec un modèle à seuil (Heringstad *et al.*, 2004 ; Negussie *et al.*, 2005). Malgré l'imprécision sur la définition des troupeaux contrôlés pour les mammites, l'estimation de l'héritabilité des mammites cliniques est déjà satisfaisante. On peut espérer qu'une meilleure sélection des troupeaux participant à l'analyse statistique et un enregistrement plus complet des mammites cliniques intra troupeau pourrait donner une amélioration sensible de l'héritabilité.

Il est important de limiter la période d'observation des mammites (Heringstad *et al.*, 2001). Notre estimation correspond à une période de 150 jours après le vêlage. Les systèmes scandinaves portent habituellement sur une période de 7 jours avant le vêlage jusqu'à 150 jours après vêlage. C'est un compromis empirique entre une période plus courte qui réduirait l'incidence des mammites et donc l'expression de la variabilité génétique et une période plus importante qui introduirait un biais dans l'évaluation génétique en pénalisant les lactations longues. Un enregistrement plus systématique et plus fiable des dates de mammites permettra une modélisation plus précise avec la méthodologie de l'analyse de survie (Ducrocq, 1987) : l'analyse du nombre de jours de lactation permet d'exploiter une information plus complète et non biaisée par les durées de lactation ou l'élimination précoce des vaches. Des travaux récents (Carlen *et al.*, 2005) laissent espérer une amélioration notable de la précision d'évaluation avec l'analyse du nombre de jours sans mammité.

La corrélation génétique entre score cellulaire et mammité se situe entre 0,60 et 0,75. Nos résultats sont conformes aux estimations antérieures obtenues avec un modèle linéaire (Rupp et Boichard, 1999 ; Carlen *et al.*, 2004) ou un modèle à seuil (Negussie *et al.*, 2005). La valeur plus faible (0,55) de la Montbéliarde peut résulter d'une erreur d'estimation liée à la faible incidence des mammites dans notre échantillon et au nombre réduit de familles paternelles. La liaison défavorable entre mammité et production laitière n'est sensible que pour les mammites cliniques. C'est un argument supplémentaire pour soutenir un effort de collecte des informations sur les mammites cliniques.

Nos résultats montrent une variabilité génétique importante pour la résistance aux mammites. Parmi les taureaux Prim'Holstein bien connus aujourd'hui (au moins 500 filles présentes dans des élevages suivis pour les mammites cliniques), on observe donc un écart de près de 15 points de fréquence entre les taureaux extrêmes. Cette variabilité n'est pas complètement expliquée par l'index génétique sur le score cellulaire.

CONCLUSION

L'héritabilité des mammites cliniques est faible. On obtiendra difficilement des index génétiques avec un coefficient de détermination supérieur à 0,70 dès la phase de testage sauf si l'évolution en faveur des caractères fonctionnels conduit à une augmentation du nombre de filles de testage par taureau. Néanmoins, la collecte de ce caractère apporte une information complémentaire à celle du score cellulaire qui ne doit pas être négligée en raison des enjeux économiques et sanitaires et de l'opposition avec la production laitière plus marquée pour les mammites cliniques que pour le score cellulaire. Il est très souhaitable d'améliorer le système de collecte avec l'identification des troupeaux réellement suivis, l'enregistrement systématique des dates réelles de survenue de mammites et une standardisation minimum de la définition d'une mammité clinique. Il est important d'étendre la collecte des données à l'ensemble des troupeaux soumis au contrôle laitier afin de compenser la faible héritabilité du caractère par une valorisation maximum de l'effectif des filles des taureaux en testage. Ces améliorations permettront une meilleure évaluation génétique des taureaux pour les mammites. Elles sont indispensables pour annuler les conséquences négatives de la sélection sur la production.

Les auteurs remercient les syndicats de contrôle laitier pour la collecte de l'information et les ARSOE pour la mise à disposition des fichiers informatiques correspondants.

- Carlen E., Strandberg E., Roth A., 2004.** *J. Dairy Sci.* 87, 3062-3070
- Carlen E., Emanuelson U., Strandberg E., 2005.** 56th EAAP meeting, 5-6 June 2005, Uppsala, Suède
- Colleau J.J., Le Bihan-Duval E., 1995.** *J. Dairy Sci.* 78, 659-671
- Ducrocq V., 1987.** *An analysis of length of productive life in dairy cattle* Ph D, Cornell University, Ithaca, NY, USA
- Foulley J.L., Gianola D., Thompson R., 1983.** *Genet. Sél. Evol.* 15, 401-424
- Heringstad B., Klemetsdal G., Ruane J., 2000.** *Livest. Prod. Sci.* 64, 95-106
- Heringstad B., Chang Y.M., Gianola D., Klemetsdal G., 2004.** *J. Dairy Sci.* 87, 3038-3046
- Institut de l'Élevage, INRA, 2003.** Propositions pour le recueil des mammites cliniques dans les troupeaux participant au contrôle laitier (Note de travail)
- Koenen E., Berglund B., Philipsson J., Groen A., 1994.** *Acta Agric. Scand* 44, 202-207
- Negussie E., Strandén I., Mantysaari E., 2005.** 56th EAAP meeting, 5-6 June 2005, Uppsala, Suède
- Rupp R., Boichard D., 1999.** *J. Dairy Sci.* 82, 2198-2204
- Rupp R., Boichard D., 2001.** *INRA Prod. Anim.* 14, 193-200
- Rupp R., Boichard D., 2003.** *Vet. Res.* 34, 671-688
- Seegers H., Menard J.L., Fourichon C., 1997.** *Renc. Rech. Ruminants*, 4, 233-242
- Van Vleck L.D., 1971.** *J. Dairy Sci.* 55, 218-22