



HAL
open science

GENESYS : Génétique et conduite de troupeau, deux leviers de flexibilité en élevage bovins laitiers

H. Leclerc, Bérénice Huquet, Laure Brun-Lafleur, P. Le Mezec, Luc Delaby, P. Brunschwig, J. Fagon, Yves Gallard, C. Lecomte, Vincent Ducrocq, et al.

► To cite this version:

H. Leclerc, Bérénice Huquet, Laure Brun-Lafleur, P. Le Mezec, Luc Delaby, et al.. GENESYS : Génétique et conduite de troupeau, deux leviers de flexibilité en élevage bovins laitiers. *Innovations Agronomiques*, 2014, 34, pp.227-239. 10.17180/7we6-fh63 . hal-01123189

HAL Id: hal-01123189

<https://hal.science/hal-01123189v1>

Submitted on 27 May 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

GENESYS : Génétique et conduite de troupeau, deux leviers de flexibilité en élevage bovins laitiers

Leclerc H.¹, Huquet B.¹, Brun-Lafleur L.¹, Le Mezec P.¹, Delaby L.², Brunschwig P.¹, Fagon J.¹, Gallard Y.³, Lecomte C.⁴, Ducrocq V.⁵, Mattalia S.¹

¹ Institut de l'Élevage, 149 rue de Bercy, 75012 Paris

² INRA UMR 1348 PEGASE, 35590 Saint-Gilles

³ INRA UE 326, Domaine du Pin au Haras, Borculo 61310 Exmes

⁴ France Conseil Elevage – Maison du Lait, 42 rue de Châteaudun, 75009 Paris

⁵ INRA UMR 1313 GABI, Bât 211, domaine de Vilvert, 78352 Jouy-en-Josas

Correspondance : sophie.mattalia@idele.fr

Résumé

Le contexte de production des exploitations laitières bovines connaît actuellement des mutations profondes. La volatilité des prix du lait et la suppression des quotas complexifient fortement les prises de décisions des éleveurs. Pour répondre au besoin d'une plus grande flexibilité de l'outil de production, la génétique et la conduite du troupeau constituent deux des principaux leviers d'action, tous deux abordés simultanément dans le programme GENESYS. Le premier objectif de ce programme était d'approfondir les connaissances sur les effets pris en compte dans le modèle d'évaluation génétique fondé sur les contrôles élémentaires, notamment l'effet Troupeau x Jour de Contrôle (TJC) caractérisant la conduite d'un troupeau un jour donné, afin de développer de nouveaux outils pour le conseil en élevage. Une typologie des élevages a été ensuite définie à partir des profils des effets TJC, pour décrire la conduite des troupeaux adhérant au contrôle laitier dans les races Normande, Montbéliarde et Holstein. Le second objectif de GENESYS était l'étude de l'adaptation des animaux en fonction des systèmes d'élevage, étudié sous deux angles : i) des études des interactions génotype x milieu exploitant les résultats des troupeaux au contrôle laitier et basées sur la typologie élaborée dans la première partie de GENESYS : sur les caractères laitiers, seuls des effets d'échelle qui ne remettent pas en cause les schémas de sélection actuels ont été mis en évidence ; ii) une étude expérimentale sur des Holsteins et Normandes conduites dans deux stratégies d'alimentation opposée (ressource normale vs limitée) : les résultats montrent une plus grande réactivité des Holsteins, mais aussi les difficultés rencontrées par ces dernières pour se reproduire. Enfin, la troisième partie du programme a concerné l'élaboration d'un premier état des lieux du croisement laitier en situation française. On constate que celui-ci s'est considérablement développé au cours des années 2000 ; il est régulièrement utilisé par les éleveurs pour pallier ces problèmes de fertilité.

Mots-clés : système laitier, adaptation, génétique, croisement, conduite troupeaux, contrôles élémentaires, interaction génotype x milieu

Abstract: GENESYS: Genetic and herd management, two dairy cattle farming flexibility levers

The production context in dairy cattle farms nowadays faces important changes. Price volatility and new management of total milk production by the dairy industry make the breeders' decision making process more complex. To meet the need for greater flexibility of the production tool, genetics and the management of the herd are two main levers of action, both discussed simultaneously in the GENESYS program. The first objective of this program was to increase the knowledge on the effects taken into account in the genetic evaluation model based on test day records, including the herd x test day effect (TJC), characterizing the management of a herd on a given day, to develop new tools for the dairy extension services. A typology of farms was then defined from the TJC effect profiles, to describe the

herd management of farms participating in milk recording services of dairy herd improvement in Normande, Montbéliarde and Holstein breeds.

The second objective of GENESYS was the study of adaptation of animals based on the rearing systems, with two approaches: i) studies of the genotype x environment interaction exploiting the results of the herds taking part to milk recording services and based on the typology developed in the first part of GENESYS: on dairy traits, only scale effects were highlighted but they not compromise the current breeding programs; (ii) an experimental study on Holstein and Normande breeds in two opposite feeding strategies (resources limited vs normal): the results showed a greater reactivity of the Holstein breed, but also the difficulties that these cows encountered to breed. Finally, the third part of the program was devoted to the development of a first assessment of the use of dairy crossbreeding in France. Its use has developed considerably during the 2000s and is commonly used by farmers to overcome fertility problems.

Keywords: dairy system, genetic, adaptation, crossbreeding, herd management, test day records, genotype x environment interaction.

Introduction

Actuellement, les éleveurs doivent faire face à de multiples mutations : la sensibilité du marché intérieur aux fluctuations du marché mondial augmente; la conduite des troupeaux doit intégrer les nouvelles exigences en termes d'environnement et de demande sociétale; la taille des élevages s'accroît... Dans ce nouveau contexte, le besoin de flexibilité de l'outil de production augmente. Au niveau du troupeau, cela se traduit par une adaptation régulière de la conduite, qui nécessite de disposer d'outils de pilotage efficaces et dynamiques. Au niveau de l'animal, cela doit s'accompagner d'une plus grande plasticité : les vaches laitières doivent être capables de s'adapter aussi bien en période d'accroissement que de maîtrise de la production, sans entraîner de troubles physiologiques ni affecter la production future.

La génétique et la conduite du troupeau sont deux des leviers disponibles pour répondre à ce besoin de flexibilité. Les outils de conseil en élevage doivent aider à affiner le pilotage du troupeau et la génétique doit permettre de sélectionner les animaux répondant le mieux aux contraintes propres à chaque élevage. Le développement d'une méthode d'évaluation génétique mise au point par l'INRA, basée sur l'analyse des performances laitières journalières enregistrées mensuellement permet de disposer d'effets Troupeau x Jour de Contrôle (TJC) caractérisant l'impact sur la production laitière de tous les facteurs environnementaux communs à l'ensemble des vaches du troupeau un jour donné (météo, conduite alimentaire, bâtiment...). Ces effets TJC constituent une source d'information intéressante pour affiner le conseil en élevage. L'utilisation des effets TJC pour décrire les milieux ouvre aussi la possibilité d'étudier les interactions génotype x milieu à l'échelle nationale pour tous les troupeaux adhérant au contrôle laitier, par une approche tout à fait innovante par rapport aux études déjà existantes dans cette thématique car elle permet de disposer d'une caractérisation systématiquement disponible pour l'ensemble des troupeaux au contrôle laitier. Par ailleurs, l'UMT RIEL conduit des travaux sur la thématique des interactions génotype x milieu avec une approche expérimentale, au sein de l'Unité expérimentale de l'INRA du Pin au Haras. Le programme Genesys était donc l'occasion de croiser les deux approches, pour valider et affiner les conclusions.

Enfin, le croisement laitier fait l'objet de nombreuses interrogations. Au démarrage du projet, il n'existait aucun état des lieux permettant d'évaluer l'utilisation du croisement laitier en France (fréquence, motivations des utilisateurs...), et les références en la matière n'étaient basées que sur des études réalisées à l'étranger (Dillon *et al.* (2003a et b), Heins *et al.* (2006), Lopez-Villalobos *et al.* (2000), Weigel et Barlass (2003)), dans des systèmes d'élevage parfois peu représentatifs de la situation française.

Le projet a reposé sur un partenariat entre l'Institut de l'Élevage à travers les départements Génétique, Technique d'Élevage et Qualité et Actions Régionales ; l'INRA à travers les UMR GABI et PEGASE et le domaine expérimental INRA du Pin au Haras ; et France Conseil Elevage (FCEL) et son réseau d'Entreprises de Conseil en Elevage (ECEL).

Il a largement bénéficié d'un développement de synergies entre recherche scientifique et technique favorisées par la proximité des équipes regroupées dans les UMT 3G (Gestion Génétique et Génomique des populations bovines) localisée à Jouy-en-Josas (78) et RIEL (Recherche et Ingénierie en Elevage Laitier) localisée sur Le Rheu et Saint-Gilles (35).

Ce projet s'est articulé en trois volets dont les objectifs étaient les suivants :

1. étudier l'adaptation de la conduite d'élevage au niveau génétique à travers la valorisation des effets issus des évaluations génétiques basées sur les contrôles élémentaires dans deux domaines : i) le conseil en élevage ; ii) la mise en œuvre d'une typologie des troupeaux, décrivant, grâce aux effets TJC, la conduite des élevages;
2. réfléchir aux questions d'adaptation de la génétique à la diversité des milieux grâce à deux approches complémentaires : une approche nationale, fondée sur les données issues des évaluations génétiques et une approche expérimentale, qui valorise les données de l'expérimentation INRA du Pin au Haras;
3. initier une réflexion sur la place du croisement laitier dans le contexte français, grâce à la réalisation d'un premier observatoire national du croisement laitier.

1. Les effets Troupeau x Jour de contrôle : interprétation et valorisation pour le conseil en élevage et la description de la conduite des troupeaux

1.1 Les évaluations « contrôles élémentaires » : principes et intérêt pour l'appui technique

Les évaluations génétiques utilisées dans les études de GENESYS sont basées sur les caractères de production : quantité de lait (notée PL), taux butyreux (TB) et taux protéique (TP). Le modèle permet d'estimer la valeur génétique des animaux en décomposant la performance journalière d'un animal en une somme d'effets (chacun étant corrigé pour les autres effets) (Leclerc, 2008) : l'effet TJC et des effets propres à l'animal, variant suivant le stade de lactation, comme la race, le rang de lactation, le mois de vêlage, l'âge au vêlage, le stade de gestation, la durée de tarissement, le niveau génétique, l'environnement permanent (effet lié à la vache qui affecte l'ensemble de ses performances mais qui n'est pas transmissible à ses descendants, comme la perte d'un quartier ou un retard de croissance). Les effets TJC estimés grâce à ces évaluations et leur évolution temporelle ont été étudiés dans le programme GENESYS avec deux finalités :

- affiner le conseil en élevage, par exemple en comparant les profils obtenus dans des troupeaux ayant une conduite similaire. Dans cette optique, une étude sur le lien entre les profils TJC et l'alimentation des femelles laitières a été engagée;
- caractériser la conduite des troupeaux. Les avantages d'une telle description sont nombreux : d'une part, les effets TJC sont disponibles pour tous les troupeaux adhérant aux ECEL, sans nécessiter d'apport de données externes (enquête alimentation par exemple) ; d'autre part, ils sont indépendants du niveau génétique des vaches laitières qui composent un troupeau ou de la structure démographique. La conduite du troupeau est donc mieux appréhendée par les effets TJC que par le niveau moyen de production du troupeau. La classification qui peut découler de ces effets peut être exploitée ensuite pour définir le « milieu » dans les études d'interaction génotype x milieu de la seconde partie du programme.

Ces résultats et ceux obtenus sur l'analyse des effets propres à l'animal ont été combinés pour construire de nouveaux outils de conseil en élevage.

1.2 Les effets TJC : reflet de l'alimentation mais pas uniquement

Cette étude a été réalisée à partir des résultats des évaluations génétiques calculées en janvier 2012 à partir de l'ensemble des résultats du contrôle laitier des femelles de race Holstein, Normande et Montbéliarde disponibles à cette date.

Les effets TJC estimés grâce à ces évaluations sur 2009-2010 ont été confrontés aux résultats des enquêtes alimentation réalisées sur la période automne 2009-hiver 2010 dans le cadre du programme Phénofinlait (www.phenofinlait.fr – Brochard *et al.*, 2009). Ces enquêtes décrivent l'alimentation de plus de 12 000 vaches, avec 4 à 6 résultats par femelle, obtenus à des périodes différentes.

Une typologie des rations, fonction de la densité énergétique (UFL/UFL) et de la richesse en protéines (g PDIE/UFL) a été définie par race et par saison, puis les effets TJC ont été comparés entre les classes. La construction d'une loi de réponse des effets TJC à ces deux valeurs alimentaires de la ration a complété l'analyse.

Les effets TJC sont différents selon les rations : la comparaison des neuf classes typologiques par race et par saison montre des différences dans les effets TJC moyens entre rations globalement cohérentes avec les effets connus de l'alimentation sur la production et la composition du lait :

- **les différences d'effet TJC entre rations hivernales et estivales sont cohérentes** : avec une différence entre les effets TJC correspondant aux rations estivales (avril-octobre) et hivernales (novembre-mars) de l'ordre de +1,1 à +2,0 kg/j en moyenne selon la race pour la PL, -3,3 à -4,2 g/kg pour le TB et -1,3 à -1,4 g/kg pour le TP, quelle que soit la race;
- **les effets TJC-PL et TP croissent avec la densité énergétique de la ration** : la comparaison entre les rations les plus et les moins denses en énergie (la densité énergétique étant positivement corrélée à la part de concentré dans la ration) montre des écarts par race et par saison allant de 2,6 à 6,5 kg/j pour l'effet TJC-PL et de 0,9 à 2,1 g/kg pour l'effet TJC-TP.

La réponse de l'effet TJC-PL en fonction de la densité énergétique et à la richesse en protéines de la ration est cohérente : on retrouve pour l'effet TJC-PL le type de réponse à l'alimentation habituellement observé pour la PL : une réponse croissante curvilinéaire à la fois par rapport à la densité énergétique et par rapport à la richesse en protéines de la ration, même si cette réponse est d'une intensité réduite (Tableau 1).

La forte variabilité des effets TJC n'est expliquée qu'en partie par l'alimentation : que la variabilité des effets TJC soit analysée à travers la typologie des rations ou la construction de la loi de réponse, l'alimentation n'en explique qu'une petite partie (entre 1 et 19%). Des rations très différentes en composition et en valeurs alimentaires peuvent conduire à des effets TJC similaires, et inversement. Une part importante de la variabilité non expliquée par l'alimentation pourrait être due aux facteurs environnementaux inclus dans les effets TJC.

Tableau 1 : Réponse de l'effet TJC-PL à des variations de densité énergétique (UFL/UFL) et de richesse en protéines (g de PDIE/UFL) de la ration pour les trois races étudiées.

Race	de 0,8 à 1,0 UFL/UFL	de 1,0 à 1,2 UFL/UFL	de 85 à 100 g PDIE/UFL	de 100 à 115 g PDIE/UFL
Holstein	+3,2 kg	+1,3 kg	+1,6 kg	+0,4 kg
Normande	+3,1 kg	+0,0 kg	+1,1 kg	+0,5 kg
Montbéliarde	+1,6 kg	+1,4 kg	+1,1 kg	+0,4 kg

Plusieurs pistes doivent encore être explorées pour mieux comprendre et expliquer les effets TJC. La prise en compte des successions de rations dans le temps et l'étude des variations d'effets TJC intra-

troupeau pourraient permettre d'affiner la relation entre alimentation et effets TJC. D'autres facteurs environnementaux entrant dans la composition des effets TJC, tels que les conditions météorologiques ou l'état sanitaire du troupeau devraient également être considérés.

1.3 Une typologie d'élevage élaborée à partir des effets TJC

1.3.1 Principes de l'étude

Une base de données pilote a été réalisée par l'Institut de l'Elevage, France Conseil Elevage et trois ECEL pilotes (Orne, Jura, Bretagne). Cette base contient les informations caractérisant la conduite de 1090 élevages, issues des bases de données départementales ou régionales des ECEL et de la base de données des Réseaux d'Elevage (Diapason, Charroin *et al.*, 2005). Ces informations étaient déjà disponibles dans les structures partenaires ou ont nécessité une collecte spécifique à travers des enquêtes en élevage. 934 élevages ont ainsi été décrits à l'aide de 75 variables choisies pour caractériser de façon synthétique le niveau d'intensification des troupeaux (surface totale, surface en herbe, en maïs, en céréales, taille du troupeau dont vaches laitières, nombre de personnes travaillant sur l'exploitation, niveau de production du troupeau, âge moyen au premier vêlage...) et donner les principaux éléments de description de l'alimentation (surface fourragère totale, durée de la période de mise à l'herbe, quantité moyenne journalière des différents fourrages, de concentrés, de maïs ensilage disponibles par vache laitière...) (Huquet *et al.*, 2012a).

L'objectif de cette partie était d'obtenir des descripteurs des profils TJC qui à la fois soient simples, concentrent le maximum d'informations contenues dans les profils TJC et reflètent la conduite globale du troupeau (pas d'éléments ponctuels). Ces descripteurs ont ensuite été interprétés à partir des 75 variables de la base de données pilote et ont été utilisés pour définir le « milieu » dans l'étude des interactions génotype x milieu.

1.3.2 Les profils TJC : éléments de définition du « milieu »

Les profils TJC de chaque élevage ont été décrits par les effets TJC estimés à partir des contrôles de performance réalisés chaque mois pendant six ans de 2005 à 2010 (soit jusqu'à 72 contrôles par élevage sur chacun des caractères). Nous disposons ainsi pour chaque élevage des profils TJC PL, TB et TP, soit 216 variables très corrélées entre elles.

Plusieurs niveaux de descripteurs ont été étudiés (niveau moyen annuel des TJC par caractère, par saison, écarts entre saisons, variabilité des TJC...). Ces descripteurs se sont avérés trop sensibles à des données extrêmes ou non représentatives de l'ensemble du profil. La méthode finalement retenue est inspirée de Koivula *et al.* (2007). Elle permet de prendre en compte l'aspect temporel des profils TJC et uniquement leurs caractéristiques répétables d'une année sur l'autre, grâce à un lissage des profils. Cette méthode consiste à modéliser un profil TJC comme une combinaison linéaire d'un niveau moyen, d'une tendance et de trois fonctions sinusoïdales. La tendance permet de prendre en compte des élevages dont les profils ont une allure semblable d'une année sur l'autre mais dont le niveau moyen diminue ou augmente année après année. Deux fonctions sinusoïdales ont une période de un an avec un décalage de phase de deux mois et une fonction sinusoïdale a pour période six mois, ce qui permet de modéliser toutes sortes de profils (avec un ou deux pics par année par exemple). A partir des cinq paramètres descriptifs de chaque profil TJC (niveau moyen, tendance et trois sinusoïdes), six descripteurs ont été extraits : la moyenne (niveau moyen intra-élevage), le minimum et le maximum du profil TJC lissé ainsi que les mois qui y sont associés et l'amplitude du profil (Huquet, 2012a).

Une classification des élevages a été ensuite réalisée à partir des résultats de l'analyse factorielle, conduite intra-race, pour éviter, dans la classification, une confusion entre la race et le niveau d'intensification des élevages. Elle a permis d'identifier trois groupes d'élevages ou clusters. Le Tableau 2 présente les variables qui caractérisent les 40 troupeaux les plus représentatifs de chaque cluster. Le premier cluster est composé de troupeaux dont le niveau de PL, TB, TP est relativement bas. Dans ce

groupe de troupeaux, le niveau d'intensification est bas : la production moyenne par vache, la densité par hectare, la quantité de concentré par vache, le pourcentage de 1^{ères} lactations sont plus bas que la moyenne générale. Dans le cluster 2, on retrouve les troupeaux ayant un niveau de PL élevé, avec un niveau TB bas. L'amplitude annuelle des variations de TB et de TP est relativement plus faible que dans les autres clusters, ce qui traduit probablement un niveau d'intensification plus élevé, et qui se retrouve d'ailleurs dans le niveau en concentrés et la densité par hectare plus élevés que la moyenne générale. Enfin, le cluster 3 est composé de troupeaux pour lesquels le niveau de PL est relativement bas, mais le niveau en TB et TP est élevé. Pour ce cluster, l'interprétation des profils TJC grâce aux éléments de conduite du troupeau est plus délicate ; le taux de 1^{ères} lactations, plus élevé que la moyenne, est le seul élément distinctif de ce cluster par rapport à la moyenne générale.

Tableau 2 : Moyenne (écart-type - sd) des variables illustrant les groupes d'élevages (clusters).

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Global ¹
Descripteur des profils TJC				
Production lait moyenne (kg/j) ²	-1,44*** (1,84)	3,47 *** (1,90)	-0,74 (1,25)	0,43 (2,75)
TB moyen (g/kg/day) ²	-1,23*** (1,00)	-0,82** (1,00)	1,53*** (0,99)	-0,17 (1,58)
TP moyen (g/kg/day) ²	-0,75*** (0,50)	0,18* (0,56)	0,48*** (0,47)	-0,05 (0,73)
Amplitude lait (kg/day)	3,89 (1,09)	3,4* (0,8)	3,81 (0,95)	3,7 (1,0)
Amplitude TB (g/kg/day)	2,62 (0,47)	4,94 (0,84)	5,7* (1,1)	5,3 (1,1)
Amplitude TP (g/kg/day)	5,26 (1,23)	2,1*** (0,5)	2,8*** (0,5)	2,5 (0,60)
Variable illustrant la conduite du troupeau				
Production lait par vache (kg)	7428*** (982)	8260** (1091)	7840 (759)	7865 (1019)
TB de référence quota (g/L)	42 (1,9)	42 (1,8)	40* (7,0)	42 (4,4)
Surface fourragère (ha)	78 (38)	61* (22)	78 (53)	72 (41)
Surface en herbe (ha)	52 (40)	36* (17)	49 (42)	45 (35)
Stock de fourrage (tonne MS/UGB)	3,43** (0,92)	3,97 (0,85)	3,86 (1,07)	3,8 (0,97)
Foin (tonne MS/UGB)	0,8** (1,1)	0,35 (0,40)	0,41 (0,28)	0,5 (0,71)
Ensilage de maïs (tonne de MS/UGB)	2,31*** (1,23)	3,15 (0,89)	3,12 (1,00)	2,9 (1,11)
Concentrés (kg/VL)	1232** (387)	1546** (490)	1344 (444)	1378 (461)
Chargement (UGB/ha de SFP)	1,43* (0,51)	1,75* (0,40)	1,53 (0,38)	3,7 (0,44)
% de 1 ^{ère} lactation	27** (15)	34 (10,5)	37* (16)	17 (15)
Age au 1 ^{er} vêlage (mois)	31 (3,4)	29* (2,8)	31 (4,9)	30 (0,26)

¹ Moyenne globale des 120 (3 x 40) élevages les plus représentatifs utilisés pour la description des clusters

² Ecart moyen par rapport à la moyenne raciale

* P < 0,05, **P < 0,01, ***P < 0,001: significativité du test de Student entre la moyenne générale et la moyenne du cluster

1.4 Conclusions et suites données

Les études ont permis de confirmer le lien entre les profils TJC et la conduite des troupeaux, notamment en ce qui concerne l'alimentation des vaches laitières.

D'autres travaux, non présentés dans cet article, visaient à l'intégration dans les outils de conseil en élevage des éléments disponibles grâce aux évaluations génétiques basées sur les contrôles élémentaires. Ces nouveaux outils reposent sur la valorisation des évaluations réalisées en routine, trois fois par an, par l'INRA et l'Institut de l'Élevage. Tous les effets estimés, issus de ces évaluations, sont transférés dans le Système National d'Information Génétique et sont à disposition des ECEL pour construire/améliorer leurs outils d'aide à la décision. Deux premiers logiciels nationaux, développés par FCEL sont d'ores et déjà mis en œuvre. Le premier permet de prédire la production laitière de chaque femelle dans les prochains mois, en valorisant toutes les données disponibles et en tenant compte de la forme de la courbe de lactation spécifique à chaque femelle (élevage, race, âge et mois de vêlage,

durée de tarissement, effet génétique, environnement permanent...) (Leclerc *et al.*, 2008). Le second permet de calculer un effet TJC dit « provisoire » à partir des contrôles effectués dans un élevage entre deux évaluations génétiques (selon une méthodologie proche de celle proposée par Mayeres *et al.*, 2004), ce qui permet aux techniciens des ECEL de disposer d'informations sur le dernier contrôle, sans attendre l'évaluation génétique suivante.

Les travaux ont aussi permis de mettre au point une méthode de classification des troupeaux à partir des profils TJC disponibles. Comme l'a montré la seconde étude, la classification a un sens en termes de conduite des troupeaux et de niveau d'intensification. La méthode est applicable à l'ensemble des troupeaux du contrôle laitier et a donc pu être utilisée comme élément de base pour la seconde partie de l'étude concernant les interactions génotype x milieu.

2. Interactions génotype x milieu

La France présente une grande diversité de conditions pédoclimatiques et par conséquent des systèmes d'élevage très variés. Deux études complémentaires ont été menées pour analyser l'impact de ces interactions génotype x milieu : une approche nationale, fondée sur les données issues des évaluations génétiques, et une approche expérimentale, valorisant les données de l'expérimentation INRA du Pin au Haras.

2.1 La valorisation des données nationales du contrôle laitier

Une des hypothèses sous-jacentes à la présence d'interactions génotype x milieu est que le contrôle d'un caractère se fait par des gènes en partie différents selon le milieu dans lequel il est exprimé. Par conséquent, la valeur génétique d'un animal pourrait dépendre du milieu dans lequel il évolue. Les interactions génotype x milieu peuvent être de deux formes (Figure 1) :

- des interactions sous forme d'effet d'échelle : le classement des animaux est le même quel que soit le milieu mais les différences entre animaux sont exacerbées dans certains milieux,
- des interactions sous forme de reclassement : le classement des animaux n'est pas le même selon le milieu.

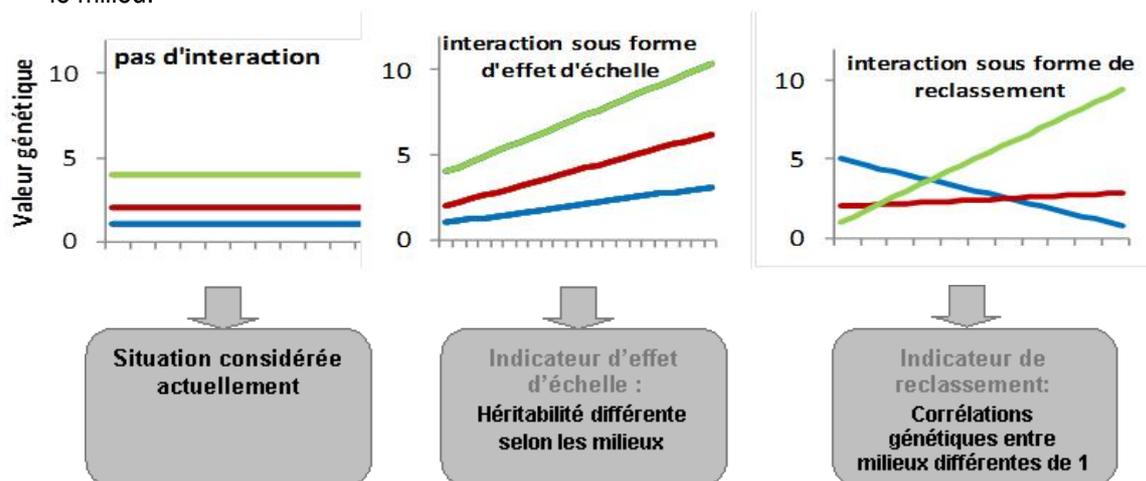


Figure 1 : Les différentes formes d'interactions génotype x milieu (valeur génétique de 3 animaux en fonction du milieu).

L'étude a été réalisée sur 15 000 troupeaux normands, montbéliards et holsteins disposant de profils TJC pour la période 2005 - 2010. Deux méthodes ont été appliquées :

- une analyse multicaractères, dans laquelle les élevages ont été regroupés selon la typologie définie dans la partie précédente. Les caractères génétiques exprimés dans les différents milieux ainsi définis étaient supposés différents mais corrélés entre eux, et les paramètres génétiques de l'ensemble des

caractères ont été estimés (héritabilités et corrélations génétiques entre les caractères exprimés dans les différents milieux) ;

- une méthode dite des « normes de réaction », dans laquelle chaque troupeau est décrit par les composantes principales (paramètres d'environnement) issues d'une analyse factorielle réalisée sur les descripteurs des profils TJC, selon la méthode définie dans la première partie.

La valeur génétique d'un animal est décrite par la somme d'une valeur génétique moyenne et d'effets génétiques dépendant de chaque paramètre d'environnement. Dans cette approche, il n'y a pas de regroupement de troupeaux et la variabilité des « milieux » est considérée comme continue, ce qui reflète probablement plus la réalité.

Les résultats obtenus sur les caractères de production (Huquet *et al.*, 2012b) n'ont pas permis de mettre en évidence d'interaction sous forme de reclassement : les corrélations entre un même caractère exprimé dans deux milieux différents sont très proches de l'unité quels que soient la race et le caractère. En revanche, l'étude a mis en évidence une interaction sous forme d'effet d'échelle : des gradients d'héritabilité ont été observés dans les trois races pour les caractères laitiers et fonctionnels (Tableau 3). Plus le profil TJC a un niveau élevé – c'est-à-dire plus la conduite permet de produire beaucoup – plus l'héritabilité du caractère est importante. Les différences de valeurs génétiques entre animaux sont exacerbées dans les milieux les plus intensifs. Le Tableau 3 montre notamment que l'écart-type génétique pour la production laitière passe de 769 à 914 kg entre les milieux peu intensifs et intensifs.

Tableau 3 : Ecart-type génétique et héritabilité (h^2) de différents caractères en fonction du milieu en race Holstein.

Caractère	Milieu suivant son intensité					
	peu intensif		moyennement intensif		intensif	
	Ecart-type génétique	h^2	Ecart-type génétique	h^2	Ecart-type génétique	h^2
Lait 305j (kg)	769	0,40	894	0,45	914	0,47
Matière Grasse 305j (kg)	30,6	0,39	34,5	0,43	35,1	0,45
Matière Protéique 305j (kg)	20,4	0,32	24,1	0,36	24,7	0,39
Taux Butyreux 305j	3,87	0,78	3,92	0,78	3,93	0,80
Taux Protéique 305j	1,58	0,64	1,58	0,64	1,61	0,67

Cette étude montre que malgré la diversité des milieux sur le territoire français, il n'existe pas d'interaction génotype x milieu sous forme de reclassement pour les caractères de production laitière : les meilleurs reproducteurs sont les mêmes quel que soit le milieu. Les schémas de sélection actuels sont donc pertinents. Il existe tout de même une interaction sous forme d'effet d'échelle. Des réflexions sont actuellement en cours pour mieux prendre en compte cet effet pour le conseil en élevage et dans les modèles d'évaluation génétique.

Cette étude a été également réalisée sur des caractères fonctionnels (comptages leucocytaires, réussite à la 1^{ère} insémination, intervalle vêlage – 1^{ère} insémination) en race Montbéliarde. Les héritabilités varient également selon le milieu mais demandent à être confirmées, compte tenu du nombre limité d'élevages pris en compte. Il pourrait également exister une interaction entraînant des reclassements sur la réussite à la 1^{ère} insémination au regard de la corrélation moyenne de 0,88 obtenue entre les différents milieux (Huquet, 2012).

Toutes les analyses de cette étude ont été effectuées intra-race sur un nombre conséquent de données. L'approche expérimentale mise en œuvre dans la partie suivante, bien entendu beaucoup plus limitée en termes de diversité génétique intra-race, permet d'aborder la question de l'adaptation des races aux contraintes d'élevage.

2.2 Quelle vache pour quel système : l'approche expérimentale

2.2.1 Un protocole expérimental pluriannuel

L'objectif de l'expérimentation réalisée sur le domaine INRA du Pin-au-Haras (61) est d'évaluer à long terme l'aptitude à produire et à se reproduire de différents types de vaches laitières affectés à deux stratégies d'alimentation opposées, dans le cadre d'une conduite en vèlages groupés.

Depuis 2006, des vaches de race Holstein (122 vaches) et Normande (112 vaches) appartenant intra-race à deux familles dont le potentiel génétique est soit orienté sur la production laitière (famille Lait), soit sur la richesse du lait en matières grasses et protéiques (famille Taux) sont affectées à deux stratégies d'alimentation aux logiques opposées : l'animal s'adapte à la ressource alimentaire disponible (Bas) ou la ressource alimentaire est adaptée afin de satisfaire la demande animale associée à son potentiel génétique (Haut). La saison de reproduction avec inséminations sur chaleurs naturelles ne dure que 13 semaines au printemps et les vaches vèlent entre janvier et mars.

En début de lactation, durant l'hiver (90 jours), les animaux du traitement Haut reçoivent *ad libitum* une ration complète à base d'ensilage de maïs (55%), de luzerne déshydratée (15%) et de 30 % de concentré, tandis que leurs homologues du lot Bas sont alimentées *ad libitum* avec une ration comportant de l'ensilage d'herbe coupe directe (50%) et mi-fané enrubanné (50%) sans aucun apport de concentré. Début avril, au pâturage, les vaches du lot Haut ont accès à une surface limitée de 35 ares /vache, qui permet environ 90 jours de pâturage seul, reçoivent en quantité constante 4 kg de concentré et dès que nécessaire 5 à 8 kg de MS d'ensilage de maïs. Les vaches du lot Bas disposent d'une surface de 55 ares /vache, qui permet 150 jours de pâturage seul, et ne reçoivent ni concentré ni ensilage de maïs. En fin de lactation, à l'étable, l'herbe pâturée est remplacée par de l'ensilage d'herbe. Durant le tarissement, toutes les vaches sont alimentées avec de l'ensilage d'herbe seulement. Chaque vache est affectée à une stratégie d'alimentation durant toute sa carrière. Les motifs de réformes sont essentiellement subis et associés à l'échec à la reproduction en conduite groupée, à la mort par accident ou maladie métabolique grave.

La production laitière (PL) est mesurée tous les jours lors des deux traites tandis que la composition du lait (TB et TP) est évaluée lors de six traites par semaine. Les vaches sont pesées chaque semaine et une note d'état corporelle (NEC) est attribuée chaque début de mois par trois notateurs confirmés. Les quantités ingérées sont calculées par lot après pesée des quantités offertes et refusées durant la période à l'étable et à partir des mesures de biomasse et d'herbe valorisée en période de pâturage. Les critères classiques de reproduction ont été enregistrés et calculés. Grâce à trois prélèvements individuels de lait par semaine entre janvier et juillet, les profils de progestérone de chaque vache sont disponibles afin de caractériser les différentes étapes du cycle de reproduction (reprise de cyclicité, expression des chaleurs et fertilité à l'IA). L'ensemble des données de production laitière, poids et NEC a été traité par analyse de covariance, en intégrant les effets année, race, rang de lactation, famille génétique, âge au 1^{er} vêlage et stratégie d'alimentation ainsi que les principales interactions de 1^{er} ordre. Les performances de reproduction de type 0/1 ont été analysées par régression logistique ou analyse du Chi².

Après six années, 380 lactations (308 jours) ont été validées dont 174 Holsteins et 206 en Normandes. Au cours de leur lactation, les vaches du lot Haut ont consommé environ 1700, 2900 et 1450 kg de MS de fourrages conservés, herbe pâturée et concentrés + AMV tandis que celles du lot Bas ont consommé 1600, 3600 et 90 kg de MS respectivement.

2.2.2 Des effets plus marqués chez les vaches Holsteins

Comme attendu, la stratégie d'alimentation Bas a induit une nette baisse de la production laitière totale (-2000 kg) et de matières (-70 kg et -72 kg de MG et MP) chez les vaches Holsteins et Normandes. Mais la réponse à la réduction des apports nutritifs a été beaucoup plus importante ($P < 0,001$) chez les vaches Holsteins (-2500 kg PL et -168 kg MU (Matières Utiles)) que Normandes (-1500 kg PL et -117 kg MU). La composition du lait a également été modifiée par la stratégie d'alimentation, avec là aussi des effets variables selon la race. Les vaches Normandes produisent toujours un lait plus riche que les vaches Holsteins de +3,0 et +2,3 pts respectivement dans les stratégies Haut et Bas, pour le TB comme le TP. Chez les deux races, la stratégie Haut induit une baisse du TB (-1,5 et -0,8 chez les vaches Holsteins et Normandes) et une augmentation du TP (+1,0 et +1,6 chez les vaches Holsteins et Normandes). Avec des effets additifs, les animaux les plus lourds sont issus du lot Haut (+40 kg) et de race Normandes (+46kg). Quelle que soit la stratégie d'alimentation, les vaches Normandes se caractérisent par une moindre perte d'état en début de lactation et un meilleur état au tarissement. L'expression phénotypique (PL, TB et TP) des effets Famille est complètement cohérente avec les index génétiques Lait et Taux, et se caractérise par l'absence d'interaction avec la stratégie d'alimentation.

Les performances de reproduction sont globalement très dégradées chez les vaches Holsteins, avec des taux de gestations très faibles, et ce d'autant plus dans la stratégie d'alimentation Bas. Les vaches Normandes, à l'inverse, semblent assez insensibles aux niveaux d'apports nutritifs. L'incapacité des Holsteins à se reproduire en temps limité est surtout due à une cyclicité dégradée et à une infécondité notable (Bas) ou à des mortalités embryonnaires tardives fréquentes (Haut).

Tableau 4 : Influence de la race, de la famille génétique et de la stratégie d'alimentation (Strat) sur les performances de lactation et reproduction des vaches laitières.

Race Stratégie Alim. Famille (Race)	Holstein				Normande				Probabilité			
	Haut		Bas		Haut		Bas		Race	Strat	Interac	Famille
	Lait	Taux	Lait	Taux	Lait	Taux	Lait	Taux				
PL (kg)	8841	8189	6368	5675	6608	6058	5010	4586	0,001	0,001	0,001	0,001
TB (g/kg)	35,8	40,2	36,9	42,1	39,6	42,5	40,1	43,4	0,001	0,001	0,045	0,001
TP (g/kg)	31,2	32,9	30,2	31,8	34,3	35,5	32,6	34,0	0,001	0,001	0,016	0,001
MU (MG + MP, kg)	587	587	421	414	476	457	356	346	0,001	0,001	0,001	NS
Poids Vif moyen (kg)	662	654	590	592	696	699	643	642	0,001	0,001	NS	NS
Perte état max (pts)	-1,05	-1,00	-1,25	-1,20	-0,75	-0,50	-0,85	-0,85	0,001	0,001	NS	NS
NEC fin lact. (pts)	2,60	2,50	1,95	1,95	3,45	3,65	2,75	2,75	0,001	0,001	0,05	NS
Profils normaux (%)	55		46		64		73		0,01	NS	?	/
Fécondées (%)	84		61		86		82		0,01	0,01	?	/
Revêlage (%)	59		44		71		68		0,01	0,01	?	/

Face à des stratégies alimentaires contrastées, les vaches de race Holstein s'avèrent beaucoup plus réactives que les Normandes. Cette réactivité importante de la production laitière, qui ne limite pas la perte d'état corporel, ainsi que la dégradation des performances de reproduction, les rend inaptes à des conduites strictes et sévères telles celles mises en œuvre dans les systèmes herbagers à très bas intrants en concentrés et avec des vêlages groupés au printemps.

3. Le croisement laitier : état des lieux en France

Parmi les possibilités offertes aux éleveurs pour adapter leurs systèmes laitiers à leurs objectifs de rentabilité, de flexibilité et d'organisation du travail, certains éleveurs peuvent choisir l'utilisation

d'animaux croisés. Le croisement a pour but de réunir rapidement les atouts de deux races et d'améliorer les performances, notamment la fertilité et la rusticité, grâce à l'effet d'hétérosis.

Grâce aux données disponibles dans le Système National d'Information Génétique (base de données qui centralise l'ensemble des parentés certifiées des bovins), les généalogies des vaches laitières croisées ont été remontées pour déterminer la race de leurs ancêtres (parents, grands-parents si la mère est croisée...). A partir des troupeaux au contrôle laitier, le type de croisement a été établi selon l'origine raciale paternelle et maternelle. Les analyses des fréquences de croisement intra-troupeau et de la structure des généalogies nous ont permis d'étudier les orientations du croisement (croisement rotatif, d'absorption...).

3.1 Une pratique en expansion

En 2012, 5,3% des femelles laitières étaient des femelles croisées, soit 364 000 femelles de tous âges. Parmi elles, 203 000 femelles étaient âgées de plus de deux ans, 37% d'entre elles étaient en 1^{ère} génération. Après une forte augmentation entre 2004 et 2009, le pourcentage de vaches laitières croisées est en stagnation sur les deux dernières années.

Depuis le début des années 2000, les naissances de veaux croisés laitiers ont triplé dans les élevages au contrôle laitier, et se stabilisent depuis 2009 à 50 000 naissances de première génération (G1) par an. Les femelles croisées restent dans les troupeaux et donnent des veaux de deuxième génération ou plus (G2+) : 63% des naissances croisées en 2011. Toutes les races de vaches sont concernées par le croisement laitier. En première génération, le croisement le plus fréquent résulte d'une insémination de taureau Montbéliard sur une femelle Holstein (25%). En deuxième ou troisième génération, sur une femelle croisée, le recours au taureau Holstein est majoritaire (44%).

La Normandie et le Nord-Picardie sont les régions où le croisement laitier est un peu plus répandu (près de 7% des vaches laitières). La pratique s'étend, notamment en Bretagne (26 000 vaches croisées) et en Pays de la Loire, où les effectifs ont doublé en cinq ans.

Le croisement laitier est utilisé plutôt en insémination de retour, et sur des multipares plutôt que sur des génisses. Il vient souvent résoudre des problèmes de fertilité par l'utilisation d'un mâle d'une race plus fertile. Le croisement, décidé pour la première insémination, est minoritaire.

En général, le croisement est pratiqué partiellement dans les troupeaux, à petite échelle. Parmi les 32 000 élevages détenant au moins une femelle croisée de plus de deux ans, seulement 6 % ont un troupeau en majorité composé de vaches croisées alors que pour 61 % des troupeaux, les croisées représentent moins de 10% des vaches.

3.2 Des motivations variées

Les travaux réalisés dans le cadre de GENESYS ont permis de préciser les différentes stratégies de croisement. Quatre ont été identifiées (absorption, amélioration, rotatif 2 ou 3 voies) et étudiées sur trois générations. Elles apparaissent en proportions équilibrées : 20 à 30% chacune. Un travail spécifique sur les 79 troupeaux des enquêtes réalisées par l'ESA d'Angers a permis de préciser les règles d'identification des stratégies de croisement laitier.

Une première comparaison de résultats de reproduction de femelles croisées et de femelles de race pure élevées dans les mêmes troupeaux a été réalisée. Le taux de réussite à 90 jours après insémination des femelles croisées est en moyenne de 5% supérieur à celui des femelles en race pure élevées dans les mêmes troupeaux et l'intervalle vêlage – 1^{ère} insémination est inférieur de 6 jours.

Ces éléments sont à considérer avec précaution car aucune correction pour le niveau génétique des mères de ces vaches n'a été effectuée, alors que l'on s'attend à ce que ce soient les mères les moins fertiles qui aient été inséminées avec un taureau d'une autre race. Cette étude a démontré qu'il y avait

suffisamment de données pour démarrer des études plus approfondies sur les effets d'hétérosis, actuellement en cours avec une thèse (2012-2015) menée en collaboration avec l'ESA d'Angers.

Si le croisement laitier reste encore marginal pour beaucoup d'éleveurs, et s'il est vu comme une opportunité ponctuelle pour d'autres, un mouvement se dessine pour introduire et élever dans les troupeaux des femelles qui ne sont pas de race pure, surtout dans l'Ouest. Les éleveurs restent prudents : la question « Que fait-on avec les croisées de première génération ? » n'a pas de réponse unique. Des études en cours cherchent à mesurer l'effet d'hétérosis et à évaluer l'intérêt technico-économique du croisement laitier dans divers systèmes d'élevage.

En conclusion

Le programme CasDAR GENESYS a permis d'approfondir les connaissances sur les effets pris en compte dans le modèle d'évaluation génétique sur les contrôles élémentaires et de développer des outils valorisant ces co-produits, notamment pour le conseil en élevage. Les travaux sur la prédiction des productions doivent être poursuivis notamment pour comprendre et corriger certains écarts importants qui peuvent subsister entre la production prédite et celle réalisée. C'est un pré-requis pour finaliser l'intégration de ces résultats dans les outils de conseil en élevage utilisés par les ECEL.

Les deux approches utilisées pour étudier l'adaptation des animaux aux systèmes d'élevage ont abouti à des résultats cohérents et complémentaires : sur la production laitière, les corrélations génétiques très élevées obtenues à partir des évaluations génétiques se traduisent en situation expérimentale par le fait que les femelles sélectionnées sur leur potentiel génétique sont toujours celles qui produisent le plus, quel que soit le milieu. En revanche, l'étude expérimentale pose de nouvelles questions en terme d'adaptabilité des races vis-à-vis des systèmes d'élevage : la race qui apparaît la plus adaptée n'est pas forcément la même selon les conditions d'élevage et la Holstein, très réactive en milieu peu contraint, perd ses avantages dans des systèmes où les ressources alimentaires sont limitées.

Un séminaire Satellite des Rencontres Recherches Ruminants en 2012 a permis de présenter à un large public l'ensemble des travaux réalisés au cours de ce programme CasDAR. Les Fiches de synthèse et les diaporamas présentés à cet occasion sont disponibles sur <http://idele.fr/recherche/publication/idelesolr/recommends/programme-casdar-genesys.html> (Collectif, 2012).

Remerciements

Le programme GENESYS a fait l'objet d'un soutien financier du Ministère de l'Agriculture au titre des appels à Projets CasDAR Recherche Finalisé et Innovation 2009. Les auteurs tiennent également à remercier l'ensemble des contributeurs à ce projet, notamment Jean-Paul Abiven (Bretagne Conseil Elevage Ouest), Yann Martinot (Orne Conseil Elevage), Christophe Vuillet (Jura Conseil Elevage), Stephan Quemener (France Conseil Elevage) et Laura Balberini (INRA UMR Pégase).

Références bibliographiques

Brochard M., Faucon F., Barillet F., Bolard M., Brunschwig P., Duhem K., Eggen A., Esvan S., Ferrand M., Fritz S., Gastinel P.-L., Guerin J.-L., Journaux L., Krychowshi I., Lagriffoul G., Larroque H., Lecomte C., Leray O., Leroux C., Leverrier C., Martin P., Mattalia S., Miranda G., Palhiere I., Peyraud J.-L., Boichard D., 2009. PhénoFinLait : un programme national français de détection de QTL et/ou de gènes majeurs affectant la composition fine du lait des ruminants laitiers. *Rencontres Recherches Ruminants* 16, 423.

Charroin T., Palazon R., Madeline Y., Guillaumin A., Tchakerian E., 2005. Le système d'information des Réseaux d'Elevage français sur l'approche globale de l'exploitation : Intérêt et enjeux dans une perspective de prise en compte de la durabilité. *Rencontres Recherches Ruminants* 12, 335-338.

Collectif. 2012. Satellite 3R : Présentation des résultats du CASDAR GENESYS. Fiches de synthèse et diaporama disponibles sur <http://idele.fr/recherche/publication/idelesolr/recommends/programme-casdar-genesys.html>

Dillon P.G., Buckley F, O'Connor P., Hegarty D., Rath M., 2003a. A comparison of different dairy cow breeds on a seasonal grass-based system of milk production 1. Milk production, live weight, body condition score and DM intake. *Livestock Production Science* 83, 21-33.

Dillon P.G., Snijders S., Buckley F, Harris B., O'Connor P., Mee J.F., 2003b. A comparison of different dairy cow breeds on a seasonal grass-based system of milk production. 2. Reproduction and survival. *Livestock Production Science* 83, 35-42.

Heins B.J., Hansen L.B., Seykora A.J., 2006. Fertility and survival of pure Holsteins versus crossbreds of Holstein with Normande, Montbeliarde, and Scandinavian Red. *Journal of Dairy Science* 89, 4944–4951.

Huquet B., Leclerc H., Ducrocq V., 2012b. Modelling and estimation of genotype by environment interactions for production traits in French Dairy Cattle. *Genetics Selection Evolution* 44, 35.

Huquet B., 2012. Utilisation des données de contrôles élémentaires pour la modélisation et l'estimation des interactions génotype x milieu. Thèse de doctorat, AgroParisTech. 175p

Koivula M., Nousiainen J.I., Nousiainen J., Mäntysaari E.A., 2007. Use of herd solutions form a random regression test-day model for diagnostic dairy herd management. *Journal of Dairy Science* 90, 2563-2568

Leclerc H., Duclos D., Barbat A., Druet T., Ducrocq V., 2008. Environmental effects on lactation curves included in a test-day model genetic evaluation. *Animal* 2(3), 344-353

Leclerc H., 2008. Mise en place de l'évaluation génétique sur les contrôles élémentaires en bovins laitiers et perspectives d'utilisation des résultats en appui technique. Thèse de doctorat, AgroParisTech. 258p.

Lopez-Villalobos N., Garrick D.J., Holmes C.W., Blair H.T., Spelman R.J., 2000. Profitabilities of some mating systems for dairy herds in New Zealand. *Journal of Dairy Science* 83, 144-153.

Mayeres P., Stoll J., Bormann J., Reents R., Gengler N., 2004. Prediction of daily Milk, Fat, and Protein production by a random regression Test-Day model, *Journal of Dairy Science* 87, 1925-1933.

Weigel K.A., Barlass K.A., 2003. Results of a producer survey regarding crossbreeding on US dairy farms. *Journal of Dairy Science* 86, 4148-4154.