



HAL
open science

Sélection, systèmes de production et qualité des produits des vaches laitières

Didier Boichard

► **To cite this version:**

Didier Boichard. Sélection, systèmes de production et qualité des produits des vaches laitières. Journées Techniques Nationales de l'Agriculture Biologique, Nov 2014, Chateauroux, France. hal-01193991

HAL Id: hal-01193991

<https://hal.science/hal-01193991>

Submitted on 2 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.

Sélection, systèmes de production et qualité des produits des vaches laitières

Didier BOICHARD

INRA, UMR1313 Génétique Animale et Biologie Intégrative, 78352 Jouy-en-Josas

INTRODUCTION

La génétique est une composante essentielle du système de production : en effet, les performances exprimées, pour l'ensemble des caractères, résultent à la fois du génotype, du milieu et de leur interaction. Un premier choix est donc celui de la race ou du type génétique en rapport avec le mode de production choisi, le niveau de performance cible et la filière de valorisation. Ce choix initial est essentiel car les évolutions intra-type génétique ne peuvent être ensuite que très progressives, au fur et à mesure du renouvellement des générations.

La sélection intra-population est le second levier génétique. Contrairement aux variétés végétales qui sont au catalogue, une race animale n'est pas génétiquement fixée et dispose d'une variabilité génétique importante, utilisée en sélection pour faire évoluer ses caractéristiques moyennes sur le moyen et long terme selon un objectif de sélection. L'impact de la sélection, s'il est progressif et assez lent, est essentiel car il est cumulatif dans le temps, toute évolution génétique réalisée à un moment donné étant acquise.

Nous aborderons de façon synthétique les questions suivantes dans cet article, en se basant sur l'exemple des bovins laitiers, une production pour laquelle la sélection est conduite intra race et en mobilisant un dispositif collectif lourd et difficilement adaptable à des objectifs diversifiés.

- Le choix de la race et la possibilité du croisement
- La définition des objectifs de sélection : les pondérations économiques des différents caractères dans les objectifs de sélection sont-elles les mêmes entre systèmes de production ? Sont-elles suffisamment différentes pour justifier la définition d'objectifs adaptés à chaque système ?
- Existe-t-il des interactions génotype x milieu d'ampleur suffisante pour justifier des programmes de sélection différents, tout en restant dans la même race ?
- Les apports de la génomique bouleversent-ils la situation au point de remettre en cause les recommandations habituellement faites sur les objectifs de sélection ?
- Quel impact de la génétique et la sélection sur la qualité du lait ?

1. LE CHOIX DU TYPE GENETIQUE

Le choix de la race est un point crucial. Il est pourtant souvent peu réfléchi, car souvent imposé ou influencé par d'autres critères d'environnement, d'histoire ou de culture. Chez les bovins, les volumes de vente de femelles sont généralement réduits, de sorte qu'un changement est également coûteux. Quand on est engagé avec un type génétique, on n'en change guère. Pourtant, tous les animaux ne correspondent pas à tous les systèmes. En France, on dispose d'une large palette de races bovines laitières avec des caractéristiques très variées. Si on se limite aux trois principales (Holstein : 70%, Montbéliarde : 18%, Normande : 10%), voici leurs principales caractéristiques. Bien sûr d'autres races peuvent être utilisées, dès lors que l'on a accès aux femelles.

La Holstein est très spécialisée en production laitière et adaptée aux milieux intensifs et non saisonnés. Elle est précoce, avec une majorité de vêlage à deux ans. Elle produit beaucoup mais demande beaucoup. Elle supporte mal des milieux à bas intrants : en cas d'alimentation insuffisante, elle mobilise ses réserves et se reproduit mal. Même en situation plus favorable, son niveau de reproduction est médiocre et incompatible avec un saisonnement très prononcé des vêlages et de la production. A l'inverse, la Normande produit moins mais elle se contente d'un niveau alimentaire plus restreint, elle adapte plus facilement sa production aux apports, et elle est fertile. Ces caractéristiques en font un animal très adapté aux systèmes pâturés. Son lait est particulièrement riche, avec d'excellentes qualités fromagères, et elle a une forte valeur bouchère. Handicapée par son niveau de production très inférieur à celui de la Holstein, elle est en régression régulière depuis 40 ans. La race Montbéliarde constitue généralement un assez bon compromis, avec une production laitière intermédiaire, d'excellentes qualités fonctionnelles (fertilité, résistance aux mammites), un rapport taux protéique / taux butyreux élevé, et ses effectifs sont en augmentation régulière.

En production laitière, le croisement est un système très peu utilisé en France et dans le monde tempéré. En effet, il est difficile à mettre en œuvre de façon durable, tant à l'échelle du troupeau que de la population. En effet, dans ses versions les plus courantes, utilisées par exemple chez le porc ou la volaille, la population est stratifiée avec différents étages : race pure support de la sélection, multiplication, production. Cette solution n'est pas envisageable en bovins laitiers compte tenu du potentiel de reproduction très limité des femelles. Rien n'empêche cependant un éleveur de pratiquer le croisement dès lors qu'il ne souhaite plus contribuer au processus de sélection. La première génération (F1) est en général très attractive car elle donne des animaux aux performances favorables qui bénéficient d'un niveau génétique intermédiaire entre les deux races parentales et d'un effet d'hétérosis positif pour la plupart des caractères. Ainsi, par exemple, des F1 Holstein x Montbéliardes produisent presque autant que des Holsteins mais présentent la même fertilité que les Montbéliardes. Toute la difficulté est de construire une politique au-delà de cette première génération. Les $\frac{3}{4}$ ressemblent à la race majoritaire et bénéficient beaucoup moins des avantages des F1 (perte de la moitié de l'hétérosis et apparition de pertes de recombinaison) (Dezetter et al, 2014). Si l'objectif est de changer de race sans coût excessif mais avec le temps, on peut utiliser le croisement d'absorption et l'on obtient des $\frac{7}{8}$ et des $\frac{15}{16}$ aux troisième et quatrième générations, respectivement. Si l'on souhaite conserver constamment des animaux croisés, des politiques de croisement rotatif de long terme peuvent être appliquées, basées sur l'utilisation de trois races de mâles, une femelle d'un père de race A et de grand père maternel de race B étant accouplée à un mâle de race C. Ce croisement est sans doute une option robuste sur la durée, même s'il n'y a pas d'expérience significative en France actuellement et si le cheptel est constamment hétérogène avec des animaux de composition proche de ($\frac{1}{7}$, $\frac{2}{7}$ et $\frac{4}{7}$ de chacune des races) après la 5-6ème génération. Une option plus simple est de tourner sur deux races seulement, une femelle d'un père de race A étant accouplée à un mâle de race B et le cheptel étant constitué de femelle de composition ($\frac{1}{3}$ et $\frac{2}{3}$ des deux races).

2. QUELS OBJECTIFS DE SELECTION ?

La sélection est une activité coûteuse, puisqu'elle implique l'élimination de nombreux individus qu'il a fallu préalablement caractériser, au prix d'un investissement. On attend donc un retour sur cet investissement.

L'objectif de sélection (voir E. Verrier, ce séminaire) formalise la direction vers laquelle on souhaite orienter la sélection et donc la nature du retour sur investissement que l'on attend. On le définit habituellement par une combinaison linéaire des différents caractères à sélectionner, chacun d'entre eux étant pondéré par une valeur reflétant son importance relative dans l'objectif. Si l'objectif est de maximiser le revenu, les pondérations sont les

poids économiques des caractères. On peut inclure des pondérations différentes du poids économique d'un caractère, par exemple une pondération plus forte si on souhaite réaliser un progrès plus important, mais au prix d'un écart à l'optimum économique. On peut bien sûr inclure des caractères non marchands, dont le poids économique est mal défini. On calcule alors la pondération nécessaire pour réaliser l'objectif fixé, ce poids étant alors le coût d'opportunité. Remarque importante, que le caractère soit marchand ou non, il ne peut être pris en compte que s'il est sélectionnable et donc mesurable de façon systématique sur une fraction définie de la population. Ainsi, par exemple, si on souhaite améliorer la robustesse des animaux, il faut d'abord définir les critères mesurables correspondants.

La sélection est un processus de long terme. Les premiers effets d'une décision ne sont observés qu'à la génération d'après et, chez les bovins, il faut souvent une dizaine d'années pour observer pleinement les résultats de la sélection. Il faut donc définir l'objectif de sélection avec une vision prospective des besoins. Le choix des caractères sélectionnés et de leurs pondérations économiques doit se baser autant que possible sur les conditions techniques et économiques anticipées à un horizon d'une dizaine d'années.

Enfin, pour comparer facilement deux caractères, on n'utilise pas la pondération par unité de mesure mais la valeur d'un écart-type génétique de chaque caractère, c'est-à-dire la valeur de ce qui est susceptible d'être modifié par la sélection pour un effort donné. A titre indicatif, dans les différentes races laitières, l'écart type génétique est de l'ordre de 500 kg de lait, 20 kg de matière grasse, 14 kg de matière protéique par lactation, 2,5 g/kg de taux butyreux, 1,4 g/kg de taux protéique, 5% de réussite à l'insémination, 7 jours d'intervalle vêlage 1^{ère} insémination, 6% d'incidence de mammite par lactation, une augmentation/diminution relative de 40% des numérations cellulaires, 0,5 lactation de durée de vie productive, etc. Ce sont les valeurs économiques de ces écarts types qu'il faut comparer pour juger de l'importance relative de différents caractères.

Après ces rappels généraux, abordons la question posée lors de ce séminaire : les poids économiques de chaque caractère sont-ils constants entre systèmes de production ? S'ils sont différents, entraînent-ils des différences marquées d'objectifs entre systèmes. Le poids économique d'un caractère (pour un caractère marchand) est classiquement défini comme la différence de revenu marginal dans un système donné, lorsque ce caractère varie, toutes autres conditions égales par ailleurs.

Les poids économiques peuvent varier entre systèmes pour deux raisons principales : (a) les niveaux moyens des différents caractères sont différents et on constate généralement que la pondération d'un caractère augmente lorsque son niveau moyen est plus limitant ; (b) les opportunités et les contraintes des systèmes peuvent être différentes : par exemple une filière de qualité bénéficie en général de prix plus élevés des produits ; un système de quota réduit la valorisation de la productivité ; un système basé sur le pâturage augmente fortement le poids de la fertilité, caractère essentiel pour la maîtrise de la saisonnalité ; le format est une composante relativement neutre dans les systèmes où l'alimentation est abondante mais devient un inconvénient quand l'alimentation est limitante.

Les calculs d'objectifs de sélection réalisés dans le passé (Colleau et Regaldo, 2001) et plus récemment dans le cadre du projet Osiris (Guerrier et al, 2013) sur une gamme assez large de systèmes de production ont montré que les poids économiques de chaque caractère étaient en général assez stables entre systèmes et entre races, une des raisons principales étant la fréquente compensation entre les deux effets (a) et (b) ci-dessus. Les systèmes moins productifs et bénéficiant de prix élevés favorisent une forte valorisation de la production. Mais par ailleurs, la fertilité et la résistance aux mammites ont des pondérations élevées car ces caractères correspondent à de fortes contraintes des systèmes.

Les objectifs de sélection ont beaucoup évolué au cours du temps, avec une pondération croissante des caractères fonctionnels et un poids devenu minoritaire de la production. En

règle générale, les objectifs actuels semblent assez robustes aux systèmes de production, dès lors que le génotype semble adapté au système. En agriculture biologique, on peut cependant raisonnablement se demander si la race Holstein est adaptée. Son niveau de fertilité, sa sensibilité aux mammites, sa faible longévité, sa productivité élevée la destinent à des milieux intensifs et peu contraints. Si cette race est élevée en France dans des conditions exclusivement herbagères, des génotypes sélectionnés dans ces milieux (Nouvelle Zélande ou Irlande), avec une production et un format plus faibles et une fertilité plus élevée sembleraient plus appropriés. Mais un changement de race serait une autre solution, plus simple.

La question est fréquemment posée de la définition d'objectifs spécifiques par système. Jusqu'à présent, la sélection est un dispositif trop lourd pour permettre des objectifs différents intra race. Plutôt que des objectifs différents trop difficiles à poursuivre dans une race donnée, il convient plutôt de raisonner davantage le choix des races qui constituent une richesse de notre pays. Par ailleurs, chaque race dispose d'une variabilité importante, se traduisant par une gamme de reproducteurs aux aptitudes variées (plus ou moins de production, de format, de caractères fonctionnels), ce qui permet aussi des choix spécifiques de taureaux par chaque éleveur en fonction de ses besoins propres, sans remettre en cause l'orientation générale.

La qualité du lait est incluse de très longue date dans l'objectif de sélection. Du fait d'un antagonisme génétique entre quantité de lait et taux (corrélation génétique de l'ordre de -0,3 à -0,4), une sélection sur la quantité de lait tendrait à abaisser les taux. Depuis les années 70, la quantité de lait n'est donc plus explicitement dans l'objectif, au profit des quantités de matière grasse et protéique, ce qui a permis en première approche une augmentation de productivité à taux constants. Jusqu'à la fin des années 80, taux butyreux et protéique ont été considérés globalement sous le terme de taux de matière utile. S'il a bien rempli ses fonctions, ce critère a présenté cependant l'inconvénient d'être plus favorable au taux butyreux, plus variable et moins lié à la quantité de lait, qu'au taux protéique. A la fin des années 80, le dispositif a été adapté pour tenir compte des deux composantes indépendamment l'une de l'autre. Du fait des quotas, la valeur économique différentielle du taux butyreux est faible ou nulle, voire négative. Son impact dans l'objectif de sélection a varié au cours du temps, mais est resté faible ou nul. La sélection réalisée au cours des années 90 est allée au-delà de l'objectif et a d'abord conduit à une baisse forte du taux butyreux, avant qu'il ne se stabilise. La sélection sur le taux protéique a été marquée, avec un gain régulier au cours du temps, en dépit de formules de paiement du lait pas aussi favorables qu'on aurait pu le souhaiter. Toutefois, la variabilité génétique du taux protéique n'est pas très élevée de sorte que la marge de progrès n'est pas considérable sur ce critère. Nous reviendrons sur ces aspects en partie 5.

3. QUELLES INTERACTIONS GENOTYPE X MILIEU ?

Le raisonnement précédent de définition d'un objectif suppose que le progrès réalisé sous l'effet d'une sélection donnée est constant quel que soit le système de production. En cas d'interaction forte, le classement entre reproducteurs peut être différent et justifier des adaptations. Il est évident que des interactions considérables existent entre milieux très contrastés comme par exemple les milieux tempérés et tropicaux, liées aux différences climatiques, de pression pathogène ou d'alimentation. Dans une région donnée, par exemple à l'échelle européenne, c'est une hypothèse qu'il faut vérifier. Aucune analyse génétique n'a été réalisée, à notre connaissance, pour comparer l'agriculture biologique aux autres systèmes, faute de pouvoir différencier les élevages dans les bases de données nationales. Par contre, de nombreuses analyses ont été réalisées pour mesurer les interactions génotype x milieu entre milieux contrastés, définis selon différents critères. Citons deux exemples :

(a) les évaluations génétiques internationales (qui permettent la comparaison des reproducteurs entre pays pour les races internationales comme la Holstein ou la Brune) reposent sur des estimations de corrélations génétiques entre pays. Ces estimations sont calculées pour l'ensemble des caractères évalués, soit généralement la production laitière, la conformation, la fertilité et la résistance aux mammites. Plus la corrélation est éloignée de 1, plus les interactions sont fortes. A noter que ce ne sont pas forcément des interactions biologiques vraies, ces corrélations reflétant également les différences de définition des caractères ou de méthodes d'évaluation entre pays. Pour une race donnée, la plupart des corrélations génétiques entre pays sont supérieures à 0,8, et souvent à 0,9. Les valeurs les plus basses, de l'ordre de 0,7, apparaissent entre pays aux systèmes alimentaires extrêmes, par exemple entre États-Unis et Nouvelle Zélande. Les interactions existent donc, mais elles restent somme toute modérées, compte tenu de la diversité des systèmes. Il n'en demeure pas moins que ces interactions justifient des classements par pays, et non un classement global. Par ailleurs, les programmes de sélection étant généralement conduits intra-pays, on constate qu'entre pays extrêmes, ils ont débouché sur des populations différenciant sensiblement par leurs niveaux génétiques : ainsi, le génotype nord-américain est considéré comme non adapté en Nouvelle Zélande du fait de sa trop faible fertilité et réciproquement, le génotype néo-zélandais n'est pas assez productif pour le système nord-américain.

(b) l'analyse des résultats par typologie de troupeaux permet de mesurer l'impact de la génétique dans les différents milieux. En France, des travaux anciens avaient été publiés par Bonaïti et al (1982ab). Des travaux plus récents ont été conduits dans le cadre de la thèse de B. Huquet (2012). Les interactions existent mais se traduisent davantage par des effets d'échelle que par des changements de classement. Deux raisons expliquent ces effets d'échelle : d'une part la variabilité, d'autre part l'héritabilité augmentent généralement avec la moyenne. Par exemple, une différence génétique laitière conduit à des différences exprimées plus importantes quand le niveau de production est élevé que quand il est plus faible ; un écart génétique de résistance aux mammites s'exprime par des différences de fréquences de mammites ou de taux cellulaires plus élevées lorsque la fréquence de mammites est élevée dans le troupeau ; même constatation pour la longévité, pour laquelle la différence exprimée est plus forte quand le risque de réforme est plus élevé.

En conclusion, à l'échelle française, les interactions entre milieux correspondent souvent à des effets d'échelle et n'induisent pas de reclassement notable des reproducteurs. Les index sont donc fiables dans tous les milieux et leurs effets sur les performances réalisées sont d'autant plus forts que le milieu permet de les exprimer. Une des raisons essentielles de ce constat est l'utilisation, jusqu'à une période récente, d'index sur descendance. Un index de taureau représente, à un facteur $\frac{1}{2}$ près, la performance moyenne de ses filles réparties dans un grand nombre de troupeaux présentant des systèmes et des niveaux de performances très variés. Les interactions sont donc largement gommées. Il n'en demeure pas moins que cette thématique doit être régulièrement revisitée pour en vérifier les conclusions et c'est d'autant plus important dans le cadre nouveau de la sélection génomique qui ne repose plus sur le testage sur descendance.

4. QUEL APPORT DE LA GENOMIQUE ?

Chez les bovins laitiers une nouvelle méthode de sélection est mise en œuvre depuis 2009, sur la base de l'information du génome. Cette approche repose sur l'analyse et l'utilisation de la variabilité naturelle du génome entre individus. L'ADN d'un individu est extrait à partir d'un de ses tissus (le plus souvent du sang, du sperme ou une biopsie d'oreille) et analysé par une technologie de puce à ADN permettant de déterminer le génotype de l'individu pour un grand nombre de marqueurs simultanément répartis sur tout le génome (de 7000 à 777 000 selon la puce, chez les bovins). Ces marqueurs génétiques n'ont pas d'effet biologique propre mais ils ont un effet apparent du fait de leur proximité avec des gènes influençant le caractère analysé. Cet effet apparent est estimé par l'analyse des relations entre marqueurs

et caractères dans une grande population de référence disposant des deux types d'information. Une fois établies, ces relations sont utilisées pour prédire le potentiel d'un individu génotypé, mais sans phénotype.

Cette approche, appelée sélection génomique, présente un grand nombre d'avantages :

- Une prédiction précoce, qui évite le testage sur descendance
- Une prédiction précise pour tous les caractères, même ceux peu héritable, ce qui augmente fortement l'efficacité de la sélection sur les caractères fonctionnels
- Une précision équivalente chez les mâles et les femelles : ces dernières vont donc enfin disposer d'index précis, très tôt, pour tous les caractères
- Un potentiel de progrès génétique fortement augmenté, laissant plus de marge dans les choix de sélection
- Du fait d'un coût de revient unitaire plus faible, l'utilisation d'un plus grand nombre de reproducteurs mâles de haut niveau, en diffusion et comme pères à taureaux, assurant une bien meilleure gestion de la variabilité génétique
- La possibilité, encore limitée en pratique mais qui devrait se développer rapidement, d'introduire de nouveaux caractères non encore sélectionnés, comme la composition fine du lait ou la robustesse et la résistance à diverses maladies des animaux.

Quel impact pour un système de production donné ? On peut supposer que la plupart des caractéristiques mentionnées sont favorables à la plupart des systèmes : la variabilité génétique sera mieux gérée ; le choix des reproducteurs sera plus large et diversifié, avec un niveau élevé sur tous les caractères ; la sélection sur les caractères fonctionnels sera plus forte, grâce à une meilleure précision des index.

Une bonne précision d'index suppose une très grande population de référence. Comme auparavant, il n'est donc pas envisagé de partitionner la population en lignées sélectionnées sur des objectifs différents. La perte de précision liée à l'analyse d'une petite fraction de la population serait bien supérieure à la perte liée à d'éventuelles interactions. Par contre, l'éleveur aura beaucoup plus de choix dans les caractéristiques des taureaux proposés par les entreprises de sélection.

Aujourd'hui, les populations de référence sont constituées majoritairement de mâles testés sur descendance, limitant fortement le risque d'interactions génotype – milieu. A l'avenir, la part des femelles avec performances propres tendra à augmenter. Il conviendra alors de veiller à ce qu'elles proviennent d'une large gamme d'environnements et de systèmes, pour limiter l'impact possible de ces interactions GxE.

Jusqu'à présent, la sélection intra-troupeau sur la voie mère fille restait limitée, du fait d'une pression faible (presque toutes les femelles nées étaient gardées pour le renouvellement) et d'une précision basse des index, voire l'absence d'index en début de carrière ou pour les caractères les moins héritable. L'ouverture de l'évaluation génomique aux femelles et la baisse régulière de son coût permettent d'envisager la mise en place d'une sélection réelle intra troupeau. Cependant, pour disposer d'une pression suffisante, il est indispensable de procréer davantage de femelles par mère choisie, ce qui n'est possible aujourd'hui que par l'usage de semence sexée. Cette option donne plus de souplesse aux éleveurs souhaitant maîtriser davantage leur objectif de sélection, tout en étant rentable à un horizon court, de l'ordre de 4 à 5 ans.

5. GENETIQUE ET QUALITE DU LAIT

5.1. Génétique et qualité sanitaire du lait.

Concernant les aspects sanitaires, la qualité est directement liée à la maîtrise des mammites, qu'elles soient cliniques ou subcliniques. Depuis 1997, des index « cellules »

sont disponibles dans les races laitières. Ces index reflètent la concentration en globules blancs dans le lait et donc la présence d'infection, au cours de la carrière de l'animal. Un index favorable (positif) reflète une faible concentration de cellules et donc un statut en général non infecté. Ce critère, à la fois indirect et assez grossier, a beaucoup d'avantages en sélection : il est héritable (0,15), facilement mesurable à faible coût, c'est un bon prédicteur des mammites subcliniques et sa corrélation génétique avec les mammites cliniques est élevée, d'environ 0,7. Il est complété par divers indicateurs de morphologie de la mamelle : les vaches présentant une mamelle haute, équilibrée, bien attachée et des trayons pas trop courts présentent une meilleure résistance aux mammites. Il existe une relation génétique défavorable entre quantité de lait et mammites, de sorte que la sélection uniquement laitière tend à augmenter la fréquence des mammites. Cette réponse est plus défavorable pour les mammites cliniques que sur les concentrations cellulaires. Depuis la réforme de l'ISU en 2001, la sélection pratiquée permettait une amélioration du niveau cellulaire mais ne garantissait pas l'absence de dégradation sur les mammites cliniques. Depuis 2010, des index mammites cliniques sont disponibles et constituent un outil de choix pour enrayer cette tendance et ils sont intégrés dans l'ISU actuel.

Comme mentionné précédemment, la voie génétique a d'autant plus d'impact sur la maîtrise des mammites que le niveau cellulaire moyen du troupeau est élevé, la réponse étant plutôt multiplicative qu'additive. La **figure 1** illustre cette situation.

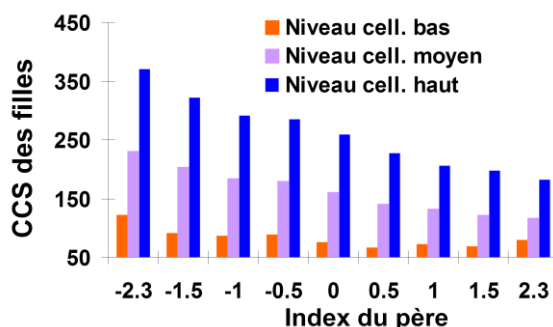


Figure 1. Concentration cellulaire en fonction de l'index du père et le niveau cellulaire de l'élevage.

Comme indiqué dans le paragraphe 3, la sélection génomique offre des possibilités importantes dans ce domaine. En effet, les mâles comme les femelles vont disposer d'index précis pour l'ensemble de ces caractères, alors que la précision des index classiques reste limitée, surtout pour les femelles. Ce gain de précision va se traduire par une efficacité accrue de la sélection sur ces caractères, sans même modifier leur poids dans l'objectif de sélection.

5.2. Génétique et composition du lait

En sélection, la composition du lait est traditionnellement traduite sous forme de taux butyreux et protéique. Ces deux taux ont des caractéristiques communes : une forte héritabilité, autour de 0,5 pour un taux moyen par lactation ; une corrélation entre ces deux taux positive et assez forte, de l'ordre de 0,6 à 0,7 ; une forte corrélation génétique entre contrôles en cours de la lactation ; une variabilité phénotypique relativement réduite à l'échelle de la moyenne par lactation, et donc une variabilité génétique également réduite. Le coefficient de variation génétique ($CV_g = \sigma_g/\mu$) est de l'ordre de 4% pour le taux protéique, 7% pour le taux butyreux, contre, à titre de comparaison, 10% pour la quantité de lait ou la fertilité. Les taux sont donc très héritables mais relativement peu variables par rapport à leur moyenne, surtout le taux protéique qui est 1,8 à 2,5 fois moins variable que le taux butyreux selon les races. Les taux sont assez fortement liés, de sorte que leur sélection dans des sens opposés est difficile et demande des efforts de sélection importants. En pratique,

comme mentionné précédemment, le taux protéique fait l'objet d'efforts récurrents, se traduisant par un progrès génétique durable, tandis que la sélection sur le taux butyreux a beaucoup varié au cours du temps, avec une augmentation dans les années 80, une diminution dans les années 90 et une stabilisation actuellement.

La composition fine du lait est un sujet récent en sélection, qui a longtemps été limité par l'impossibilité de la mesurer à grande échelle. Dans le cadre du projet PhenoFinLait (Brochard et al, 2014 ; Boichard et al, 2014) ont été développées des équations de prédiction du profil en acides gras et en protéines du lait à partir des spectres en moyen infra-rouge utilisés par les laboratoires d'analyses pour la prédiction des taux butyreux et protéiques. Les prédictions sont suffisamment précises pour une trentaine d'acides gras et les 6 protéines majeures. Les acides gras saturés et les protéines présentent des héritabilités élevées, tandis que les insaturés sont plus sensibles à l'alimentation. Ces études ouvrent des perspectives importantes sur la sélection de composants particuliers du lait. Mais cette possibilité ne deviendra une réalité que si l'objectif à atteindre est clairement défini et si des incitations importantes sont mises en œuvre.

La génomique a permis de mettre en évidence les régions du génome (ou QTL, pour quantitative trait locus) responsables de la variabilité génétique d'un caractère. Plusieurs dizaines de QTL affectant les taux sont cartographiés souvent finement. Plusieurs sont complètement caractérisés jusqu'à l'identification des mutations causales. Parmi ces QTL, l'un est particulièrement exceptionnel par ses effets. Il s'agit du gène DGAT1, codant pour l'enzyme responsable de la transformation des di-glycérides en tri-glycérides. Localisé sur le chromosome 14, ce gène a un effet majeur sur le taux butyreux avec près de 7g/kg entre homozygotes opposés, et 30 à 40% de la variance génétique expliquée en race Holstein. Il affecte principalement les acides gras saturés mais également l'ensemble de la composition du lait, y compris le taux protéique, ainsi que la quantité de matière grasse (dans la même direction) et la quantité de lait (dans le sens opposé). Plusieurs autres gènes ont été complètement identifiés, comme GHR, affectant les deux taux par une plus ou moins grande dilution du lait. Le locus des caséines a un effet marqué sur le taux protéique. Le locus de la β -lactoglobuline affecte la synthèse de cette protéine et par conséquent le rapport caséinique (=caséines/protéines) du lait. Ce locus a aussi un effet majeur sur le taux d'acides gras poly-insaturés dans le lait.

L'accès aux informations de composition fine permet de prédire les évolutions de profil en fonction de la sélection actuellement pratiquée. En effet, même si la composition fine n'est pas dans l'objectif actuel, elle peut varier sous l'effet de la sélection, si elle est corrélée à des caractères de l'objectif. On constate ainsi qu'une augmentation du taux butyreux s'accompagne en général d'une augmentation des acides gras saturés et plus particulièrement du C16:0. Au contraire, la sélection pour la productivité laitière s'accompagne en général d'un taux relatif d'acides gras insaturés plus élevé, probablement dû à la mobilisation corporelle plus forte et plus longue des animaux. Les acides gras saturés, issus d'une synthèse dans la mamelle à partir de précurseurs à courte chaîne provenant du rumen, sont positivement corrélés entre eux, à l'exception du C16:0. Les acides gras saturés et insaturés sont négativement corrélés entre eux. L'indice de désaturation en position 9 de la chaîne de carbone, défini comme le rapport entre les produits de désaturation et leurs précurseurs, apparaît comme assez héritable. Deux gènes sont identifiés comme affectant fortement le profil en acides gras du lait. D'une part, DGAT1 affecte pratiquement tous les acides gras : l'allèle augmentant le taux butyreux augmente également la fraction de tous les acides gras saturés et diminue celle des insaturés. Par ailleurs, SCD, codant pour la $\Delta 9$ -désaturase, affecte fortement le taux de désaturation.

Jusqu'à une date récente, l'aptitude fromagère des laits n'a pas fait l'objet d'efforts particuliers en sélection au-delà de l'effort sur le taux protéique. Cela s'expliquait aussi par le manque de prédicteurs faciles à mesurer à l'échelle de l'échantillon de lait. Connu depuis longtemps pour son effet sur l'aptitude fromagère, le locus de la caséine κ n'a jamais fait

l'objet d'une pression de sélection réelle. Récemment, le projet From'Mir a été sélectionné pour financement par le Casdar. Il vise entre autres à construire des prédicteurs de l'aptitude fromagère à partir des spectres MIR, comme dans le projet PhenoFinLait. Si cette approche s'avère efficace, elle ouvrira des possibilités très importantes sur les propriétés technofonctionnelles du lait.

Ces nouveaux outils devraient être disponibles à l'avenir en sélection et ouvriront des perspectives importantes pour la maîtrise de la composition du lait par la génétique.

BIBLIOGRAPHIE

- > BOICHARD D., GOVIGNON-GION A., LARROQUE H., MAROTEAU C., PALHIÈRE I., TOSSER-KLOPP G., RUPP R., SANCHEZ M.P., BROCHARD M. 2014. Déterminisme génétique de la composition en acides gras et protéines du lait des ruminants et potentialités de sélection. INRA Productions Animales, sous presse.
- > BONAITI B, BERTAUDIÈRE L. 1982. Genotype environment interaction on milk-production in cattle. 1. Variation of milk-yield of heifers as influenced by selection index of the father and herd level. Ann. Genet. Sel. Anim., 14, 177-186
- > BONAITI B. 1982. Genotype by environment interaction on cattle dairy production. 2. Genetic correlation between production herd level and variation of heritability. Ann. Genet. Sel. Anim., 14, 441-452.
- > BROCHARD M., DUHEM K., BOICHARD D. 2014. Avant-Propos (dossier PhénoFinlait). INRA Productions Animales, sous presse.
- > COLLEAU J.J., REGALDO D. 2001. Définition de l'objectif de sélection dans les races bovines laitières. Rencontres Recherche Ruminants, 8, 329-332.
- > DEZETTER C. , LECLERC H., MATTALIA S., BARBAT A., BOICHARD D., DUCROCQ V. 2014. Estimation des effets de la consanguinité et du croisement pour les caractères de production chez les vaches de race Prim'Holstein, Montbéliarde et Normande. Rencontres Recherches Ruminants, Paris.
- > GUERRIER J., EXPERTON C., PATIN S., PHOCAS F., 2013 - Projet OSIRIS : Objectifs de Sélection Innovants en Ruminants et Indices de Synthèse. Renc. Rech. Rum. (20), Paris, France, 4-5 déc. 2013.
- > HUQUET B., LECLERC H., DUCROCQ V., 2012. Modelling and estimation of genotype by environment interactions for production traits in French dairy cattle. Genet. Sel. Evol. 44, 35.