

La sélection génomique, pour des animaux encore mieux adaptés à leur système d'élevage. Le cas des bovins laitiers

M. Brochard¹, S. Minéry²

Les liens entre génétique et systèmes d'élevage, notamment leur composante fourragère, font l'objet de questions de Recherche & Développement prioritaires depuis plusieurs années. Les connaissances et outils actuels permettent une meilleure adaptation de la génétique animale aux milieux et systèmes d'élevage ; les développements actuels et futurs devraient faciliter cette adaptation.

RÉSUMÉ

Depuis quelques années, les dispositifs de sélection ont intégré de nouveaux caractères concourant à un meilleur équilibre de la sélection et un renforcement des caractères dits fonctionnels. La question de la pertinence des classements des animaux (sur leur valeur génétique) entre milieux ou systèmes contrastés est posée. La prise en compte de l'efficacité alimentaire dans les programmes de sélection est un des principaux enjeux actuels. La définition des phénotypes les plus pertinents montre un besoin de multicom pétence des animaux, qui peut se traduire par des index de synthèse. La question de l'adaptation des animaux à leur système se traduit principalement par le défi d'une certaine « personnalisation » des stratégies génétiques en élevage en exploitant au mieux la diversité génétique parmi les reproducteurs.

SUMMARY

Creating better-adapted livestock via genomic selection: a case study involving dairy cattle

Current knowledge and tools have made it possible to generate animals that are better genetically adapted to local environments and livestock systems. Over the past several years, artificial selection efforts have focused on functional traits and trait balance. An important outstanding question is whether it makes sense to classify animals according to their genetic value given that variability exists among local environments and livestock systems. At present, there is a major focus on selecting for feeding efficiency. Efforts aimed at identifying key phenotypes have revealed a preference for animals demonstrating trait balance (i.e., an overall ability to deal with variable conditions and available resources), which can be estimated using summary indices. In efforts to obtain animals adapted to specific livestock systems, genetic strategies must be customised to a certain degree, a challenge that involves making the best possible use of the genetic diversity exhibited by breeding livestock.

Les contextes économique, environnemental et sociétal de l'élevage imposent une optimisation toujours plus poussée des systèmes d'élevage, au sens de la recherche de la meilleure efficacité possible dans l'utilisation des ressources nécessaires. **L'animal, au travers de l'ensemble de ses aptitudes, est un maillon essentiel à cette efficacité globale des systèmes** : ses atouts ou faiblesses sont autant d'économies ou de dépenses en intrants pour atteindre un objectif de production donné. Ces atouts et faiblesses se définissent relativement à des

jeux de contraintes par rapport aux conditions d'élevage que l'on désignera par la suite par « système ou milieu d'élevage ». Les questions actuelles relatives à la nécessaire réduction des intrants médicamenteux, la maîtrise des charges, l'augmentation de la fréquence des événements climatiques « exceptionnels » et leurs répercussions notamment sur les ressources fourragères... mettent en avant la problématique de l'adaptation des animaux à leurs milieux d'élevage.

AUTEURS

1 : Groupe UMOTEST, 259, route des Soudanières, CS 10002, F-01250 Ceyzériat

2 : Institut de l'Élevage, 149, rue de Bercy, F-75595 Paris Cedex 12 ; stephanie.minery@idele.fr

MOTS CLÉS : Agroécologie, bovin laitier, complémentation, efficacité alimentaire, évolution, facteur milieu, intensification, race bovine, sélection animale, système d'élevage, système de production, système fourrager.

KEY-WORDS : Agroecology, animal breeding, cattle breed, change in time, dairy cattle, environmental factor, feed supplementation, feeding efficiency, forage system, intensification, livestock system, production system.

RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE : Brochard M., Minéry S. (2016) : "La sélection génomique, pour des animaux encore mieux adaptés à leur système d'élevage. Le cas des bovins laitiers", *Fourrages*, 225, 55-63.

Cette problématique « accompagne » la sélection en élevage depuis la domestication des espèces. Toutefois, depuis la seconde moitié du XX^e siècle, l'essor des filières d'élevage s'est accompagné d'une volonté toujours croissante de s'affranchir des milieux, reléguant au second plan l'importance de l'adaptation des animaux. Cette adaptation est une aptitude globale complexe et multifactorielle. Voici d'ailleurs comment DILLON *et al.* (2007) résumant cette problématique pour les systèmes herbagers irlandais « *a cow with a high milk solids per kg of grass DM intake, fertile, healthy, easily managed and good survival*¹ ». Il paraît alors complexe de vouloir intégrer efficacement cette multiplicité d'objectifs dans un même et seul processus de sélection. Cependant les évolutions technologiques des 15 dernières années, parmi lesquelles l'apparition de l'évaluation génomique, le sexage de la semence et une grande diversité d'outils utiles pour le « phénotypage » (capteurs, analyses haut débit telle que l'infrarouge...) ouvrent de façon importante le champ des possibles.

Pour toutes ces raisons, **les liens entre génétique et systèmes d'élevage**, dont sa composante fourragère, **font partie des questions de Recherche et de Développement prioritaires** depuis quelques années dans le monde de l'élevage. Nous nous sommes attachés dans le présent article à analyser comment la génétique bovine laitière traite et pourra traiter demain la question de l'adaptation des animaux à différents systèmes d'élevage. Nous commencerons par identifier comment les dispositifs de sélection ont, aux cours de ces dernières années, traité cette question de façon globale et comment, en conséquence, les objectifs de sélection ont évolué. Puis nous nous intéresserons aux différentes modalités génétiques d'adaptation à une diversité de systèmes d'élevage, et notamment les critères de sélection spécifiques à certains types de systèmes et outils disponibles en élevage pour personnaliser une stratégie génétique. Nous aborderons ensuite plus précisément une des composantes essentielles des systèmes d'élevage, l'alimentation (dont sa variabilité en qualité, voire en quantité)

GLOSSAIRE

GLOSSARY

Les **index** sont des estimations des valeurs génétiques des animaux. Ils sont comparables entre mâles et femelles.

Le **génotypage** est la lecture de l'ADN extrait du sang, du cartilage ou d'un bulbe pileux.

L'**efficacité** est l'adéquation entre objectifs et résultats, tandis que l'**efficience** est l'adéquation entre les moyens déployés et les résultats. On préfère parler d'**efficience alimentaire**, plutôt que d'efficacité alimentaire, car on tient compte non seulement de l'effet de la ration sur la production, mais aussi du coût pour obtenir ce résultat.

L'**évaluation génomique** est un calcul des index qui utilise l'information issue du génotypage. Elle valorise aussi les autres données disponibles (généalogie et performances).

Le **sexage de la semence** permet la production de paillettes contenant des spermatozoïdes X (pour faire naître des femelles) ou des spermatozoïdes Y (pour faire naître des mâles).

et la capacité individuelle des animaux à bien la valoriser. Enfin, nous terminerons cette analyse par une présentation des principaux résultats issus d'une réflexion sur la place de la génétique dans un « contexte agroécologique » car, en effet, d'un point de vue génétique, l'agroécologie implique de solliciter les capacités d'adaptation des animaux pour faire face aux contraintes et fluctuations de leur milieu d'élevage.

1. La sélection génétique en bovin lait : aujourd'hui, où en sommes-nous ?

■ La diversification des caractères en sélection : de la production laitière aux caractères dits « fonctionnels »

Les races bovines spécialisées laitières ont d'abord été sélectionnées pour améliorer leur production laitière. Dans les années 50, il fallait augmenter les quantités de lait pour produire plus. Puis, progressivement, les caractères sélectionnés se sont diversifiés, et de « produire plus », on est passé à « produire mieux ». A partir des années 70-80, la sélection a intégré la qualité du lait, avec la composition en matière utile (protéine et gras), et la morphologie des animaux. Puis d'autres critères, qualifiés de « fonctionnels », se sont ajoutés, dans la seconde moitié des années 90, avec notamment la vitesse de traite, le tempérament des individus, les cellules somatiques dans le lait, la fertilité, la longévité, les aptitudes au vêlage et, plus récemment, la résistance aux mammites cliniques. Dans un avenir proche, des informations sur les boiteries, voire sur d'autres pathologies et notamment les maladies métaboliques, seront incluses. Ces nouveaux caractères sont liés à la santé, au bien-être et à la durabilité des animaux dans l'élevage. Quant à la morphologie des animaux, de plus en plus de postes sont pris en compte, touchant aussi bien la capacité corporelle, la mamelle, les membres ou les pieds. L'objectif est au final d'avoir des animaux toujours mieux adaptés aux conditions d'élevage (traite, logement...) et faciles à conduire.

■ L'objectif de sélection a évolué au cours du temps, pour intégrer les nouveaux caractères

Pour maximiser l'efficacité économique de la sélection, on définit un objectif de sélection global, qui vise à permettre aux producteurs d'obtenir le revenu maximal. L'index de synthèse est l'outil qui permet d'aller vers les objectifs fixés. En bovin lait, c'est l'ISU (Index de Synthèse Unique), défini pour chaque race. Il combine différents caractères pour lesquels on souhaite une amélioration génétique dans la population ou un maintien, pour préserver certaines aptitudes. Le choix, la hiérarchisation des caractères à intégrer à l'ISU, ainsi que les poids relatifs à y accorder, sont des tâches compliquées. **L'ordre de priorité est issu d'un consensus au sein de l'Organisme de**

1 : « une vache produisant une quantité élevée de matière dans le lait par kilo de matière sèche ingérée, fertile, en bonne santé, facile à conduire et avec une bonne longévité »

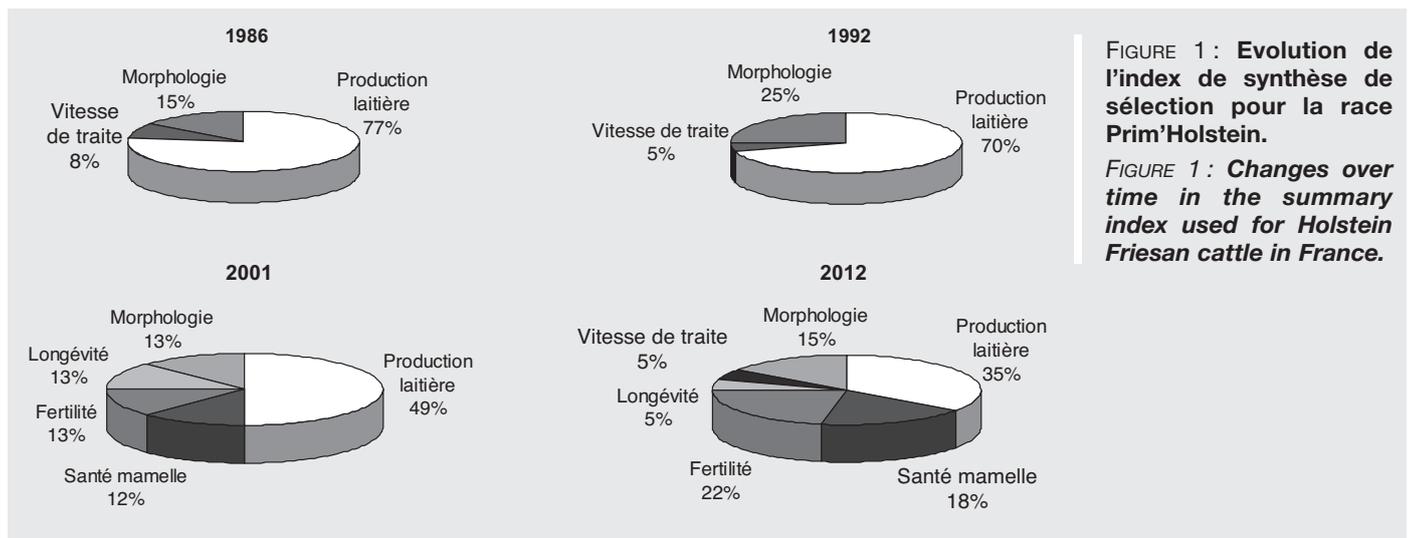


FIGURE 1 : Evolution de l'index de synthèse de sélection pour la race Prim'Holstein.

FIGURE 1 : Changes over time in the summary index used for Holstein Friesian cattle in France.

Sélection et répond à une multitude d'enjeux : économie des filières et de l'élevage, adaptation aux conditions d'élevage, santé et bien-être animal, attentes sociétales et environnementale... (PHOCAS *et al.*, 2013). Les pondérations entre caractères intègrent l'incidence économique à l'échelle de l'élevage (pour les caractères où il est possible de l'évaluer), les liaisons génétiques entre caractères et des orientations politiques de race (en particulier pour les caractères non marchands). Le programme OSIRIS (Objectifs de Sélection Innovants en Ruminants et Indices de Synthèse), financé *via* le CAS DAR (Compte d'Affectation Spéciale « Développement Agricole et Rural »), a développé un outil qui détermine les pondérations économiques des caractères, grâce à un modèle bio-économique basé sur les résultats des exploitations suivies dans les réseaux INOSYS.

Entre 1986 et 2012 (*cf.* figure 1), l'objectif de sélection a considérablement évolué, dans toutes les races, en faveur des caractères liés à la robustesse. L'objectif est de tendre vers des animaux qui produisent du lait de qualité, tout en maintenant leurs aptitudes de reproduction, de santé, de bien-être... Aujourd'hui, par exemple en race Prim'Holstein, l'ISU accorde 35 % de l'objectif de sélection à la production laitière, 15 % à la morphologie, mais 50 % aux autres qualités d'élevage (santé, reproduction, longévité...) qui étaient quasi inexistantes jusqu'au début des années 2000.

2. Des vaches et des systèmes : les classements sont-ils les mêmes dans tous les systèmes d'élevage ?

L'orientation de sélection est unique au sein d'une même race pour éviter de disperser l'effort de sélection et maximiser le progrès génétique. Dans le cadre des programmes de sélection, les taureaux sont choisis principalement sur la base de leur index de synthèse globale, l'ISU.

Néanmoins, cette unicité est de plus en plus remise en cause, notamment dans le cadre de l'agriculture biologique (NAUTA *et al.*, 2012). Pour certains, il faut construire un objectif de sélection adapté à ces systèmes

à bas intrants, voire même envisager des programmes de sélection spécifiques. Plusieurs raisons pourraient en effet justifier des ajustements des objectifs de sélection aux systèmes :

- lorsque les poids économiques des caractères sont très différents d'un système à un autre ;
- lorsque des interactions génotype x milieu existent sur certains caractères au point de remettre en cause les classements des animaux ;
- lorsque les liens génétiques entre les caractères évoluent selon les milieux.

■ Faut-il des objectifs de sélection différents selon les types de systèmes ?

Dans le cadre du programme OSIRIS, une première comparaison au sein de la race Montbéliarde a été réalisée entre production en agriculture conventionnelle (AC) et production en agriculture biologique (AB), dans un même système herbager du Massif central, *via* un modèle développé par CROUE (2013). Cette modélisation a permis de déterminer le poids économique des principaux caractères de production et de reproduction (quantité de lait, quantité de matières, cellules somatiques, fertilité...) dans chacun des systèmes. Le poids de la production laitière est plus important dans le système AB que dans le système AC : 16 contre 5 %, en raison notamment d'une meilleure valorisation du lait commercialisé (figure 2). En revanche, la meilleure valorisation de la matière grasse en AB ne permet pas de compenser le coût d'alimentation (concentré surtout) plus élevé. Dans cette approche, la part totale des caractères de production dans l'objectif de sélection est à peu près semblable, d'environ 45 %. Pour les caractères fonctionnels, les mammites cliniques ont plus de poids dans les résultats du système AB, car la gestion des réformes y est plus stricte, alors que les autres caractères sont similaires d'un système à l'autre. Malgré les différences précédemment citées, les deux index de synthèse AB et AC sont très proches. Sur cette base technico-économique stricte, il ne paraît donc pas pertinent de différencier les objectifs de sélection selon le

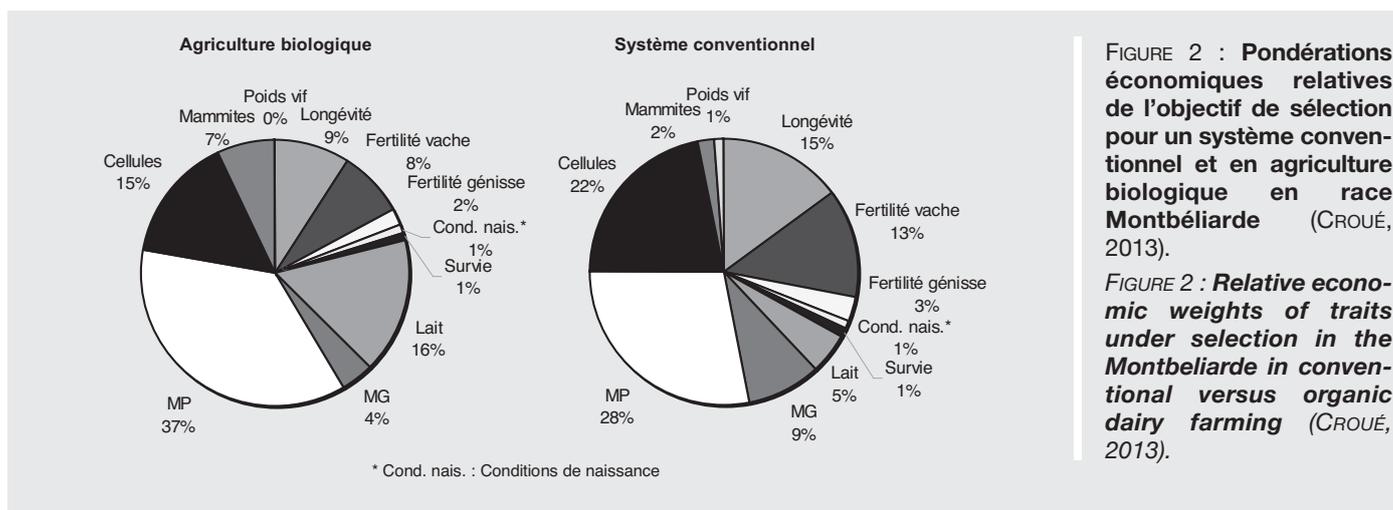


FIGURE 2 : Pondérations économiques relatives de l'objectif de sélection pour un système conventionnel et en agriculture biologique en race Montbeliarde (CROUÉ, 2013).

FIGURE 2 : Relative economic weights of traits under selection in the Montbeliarde in conventional versus organic dairy farming (CROUÉ, 2013).

système AB ou AC. Il est néanmoins prévu d'étendre ces travaux à d'autres races et d'autres systèmes pour tester de façon plus poussée la pertinence de différencier des objectifs de sélection.

A l'étranger, des questions similaires se posent. Aux USA, un index de synthèse spécifique pour les systèmes pâturants bovin lait a été mis en place, appelé GM (Grazing Merit Index; GAY *et al.*, 2014). Cet index, officiel depuis décembre 2014, répond à l'attente des producteurs américains en systèmes à base d'herbe, peu satisfaits de l'index de synthèse actuel basé sur les élevages en contrôle laitier, non représentatif des systèmes pâturants américains. Il accorde plus de poids à la reproduction et à la capacité corporelle des animaux, tout en diminuant leur taille. Les canadiens, les allemands (Bavière), les suisses et les autrichiens ont quant à eux développé des index de synthèse pour les élevages en agriculture biologique pour certaines de leurs races bovines laitières (ROZZI *et al.*, 2007). Ces index accordent plus d'importance aux caractères de santé, à la capacité corporelle et à la persistance de la lactation, au détriment de la production laitière. L'objectif est de permettre aux éleveurs concernés de mieux choisir leurs animaux. Ils n'envisagent pas la mise en place d'un programme de sélection spécifique, étant donné les faibles effectifs. On notera qu'en 2014 les Suisses ont finalement abandonné cet index AB en race Brune, suite aux modifications des critères pris en compte dans leurs objectifs généraux de sélection (FRIC et SPENGLER, 2014).

■ Choisir un animal adapté à un milieu donné

Les modèles d'évaluation génétique utilisés actuellement pour classer les animaux supposent que cette valeur génétique soit la même quel que soit le système d'élevage dans lequel ils évoluent. L'étude des interactions génotype x milieu permet de vérifier si le potentiel génétique des animaux dépend des systèmes considérés ou pas. L'« interaction génotype x milieu » a été définie par FALCONER en 1952. Il s'agit « d'un phénomène où les performances de différents génotypes ne sont pas affectées de la même façon dans différents environnements ».

Les interactions génotype x milieu peuvent être de trois types (cf. figure 3) :

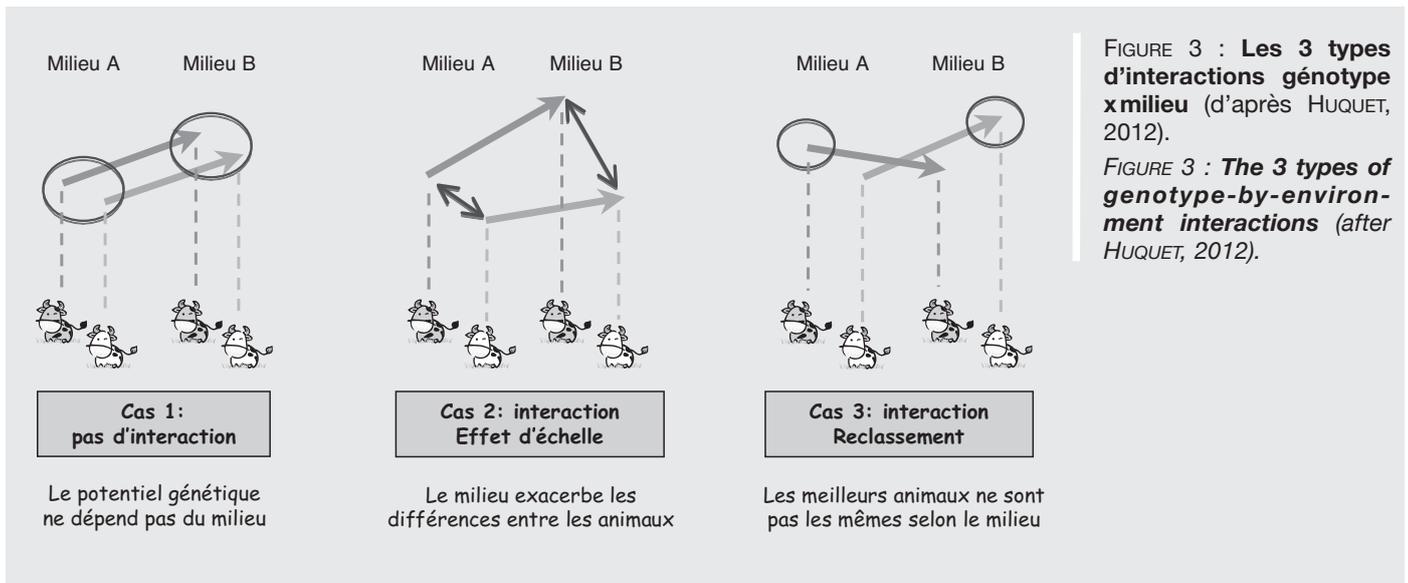
- **Cas 1 : Inexistantes** : dans ce cas, les performances des animaux ne seront pas affectées par le milieu dans lequel ils produisent. Le classement des animaux reste le même dans tous les milieux.

- **Cas 2 : Existantes avec un effet d'échelle** : dans ce cas, un écart de valeur génétique entre deux animaux se traduira par un écart de performances différent selon le milieu dans lequel ils produisent. Le milieu exacerbe les différences entre animaux.

- **Cas 3 : Existantes avec un effet de reclassement** : dans ce cas, les meilleurs animaux ne seront pas les mêmes selon le milieu dans lequel ils produisent.

La définition du milieu est centrale lorsque l'on cherche à étudier les interactions génotype x milieu. Selon HUGUET (2012), le milieu peut être défini comme une entité géographique (région, pays, groupe de pays) ou comme un système d'élevage décrit par le système de production (par exemple AB/conventionnel ou intensif vs extensif), par des éléments de conduite du troupeau (alimentation, type de logement des animaux, structure du troupeau, type de matériel...), par les contraintes pesant sur l'exploitation (comme le climat), voire par les performances des animaux. De la même façon, le type génétique peut être défini comme une race (par exemple Prim'Holstein vs Normande) ou bien une souche particulière au sein d'une race (par exemple Holstein néo-zélandaise vs Holstein nord-américaine), voire au niveau individuel (potentiel génétique).

En France, deux études complémentaires ont été menées sur ce thème, dans le cadre du programme GENESYS, l'une sur le plan national, l'autre en ferme expérimentale. Au niveau national, HUGUET (2012) conclut que les schémas de sélection actuels sont pertinents, puisqu'on n'observe pas d'effet de reclassement des animaux dans les différents milieux mis en évidence (intensif vs extensifs). En revanche, cet auteur a noté un effet d'échelle sur la production laitière et les quantités de matières utiles dans le lait : les différences de performance entre les animaux de valeurs génétiques extrêmes



sont plus importantes dans les milieux intensifs. En ferme expérimentale, DELABY *et al.* (2012) a comparé la réaction de deux races, la Prim'Holstein et la Normande, face à deux stratégies d'alimentation opposées (apports hauts/apports bas), dans le cadre d'une conduite en vêlages groupés de printemps. Face à des stratégies alimentaires contrastées, les vaches de race Prim'Holstein s'avèrent très réactives par rapport aux vaches de race Normande, à savoir que les différences de production laitière entre les deux types génétiques sont exacerbées dans un milieu intensif, en accord avec les conclusions de HUQUET (2012). Mais, dans ce système de vêlages groupés, les vaches de race Holstein ont globalement plus de problèmes de reproduction que les vaches Normande, et encore plus dans un système à bas intrants, alors que les vaches Normande semblent insensibles aux niveaux d'apports nutritifs associés aux deux systèmes d'alimentation. Ces dernières s'adaptent mieux aux systèmes à bas intrant. En conséquence, il semble important de raisonner le choix de la race en fonction du système d'élevage choisi.

A l'étranger, les interactions génotype x milieu ont surtout été étudiées, chez les bovins laitiers, en race Holstein. Dans une synthèse de travaux réalisés en bovin lait, notamment en Irlande, Ecosse, Canada, Australie, Nouvelle-Zélande, en fermes expérimentales et/ou commerciales, DILLON *et al.* (2006) notent de nombreuses interactions génotype x milieu. Ceci semble être particulièrement le cas lorsque les types génétiques sont assez éloignés les uns des autres et/ou les systèmes d'alimentation suffisamment contrastés. On observe également le plus souvent des effets d'échelle, mais rarement des effets de reclassement. Les effets d'échelle ayant peu de conséquence pour la conduite d'un schéma de sélection, les index de synthèse peuvent donc être uniques, à l'échelle de chaque population. De cette synthèse, il ressort également que les caractères les plus étudiés sont ceux déjà utilisés en sélection (par ex. production laitière). Une étude autrichienne réalisée en race Fleckvieh, sur un grand nombre de caractères (production laitière, cellules, longévité, fièvre de lait, troubles de reproduction...)

confirme que **les niveaux d'interaction génotype x milieu sont également faibles, ne nécessitant pas la mise en place de schémas de sélection différents** entre systèmes en agriculture biologique, conventionnelle bas intrants et conventionnelle intensive (PFEIFFER *et al.*, 2016).

■ Les outils de la génomique : nouvelles possibilités d'adaptation à l'élevage

La diffusion officielle d'index génomiques pour les taureaux d'insémination animale en 2009 et le génotypage possible des femelles laitières en 2011 permettent, en combinaison avec la semence sexée, à la voie femelle de prendre une place centrale dans la sélection, au sein de stratégies d'élevage novatrices. La génomique permet en effet une sélection plus efficace car, dès la naissance, la valeur génétique de l'animal est connue assez précisément et ce, pour l'ensemble des caractères en sélection chez les mâles et les femelles. On dispose en particulier d'informations auparavant non disponibles pour les femelles. Compte tenu de la précision des informations, avec la sélection classique, seuls les mâles pouvaient avoir une valeur génétique fiable pour la fertilité, la résistance aux mammites et la longévité de leurs filles. Pour ces caractères faiblement héréditaires et connus tardivement dans la vie de l'animal, **la génomique permet la diffusion d'index pour les femelles** (BOICHARD *et al.*, 2015).

La génomique **permet de doubler, voire de multiplier par quatre, le progrès génétique sur certains caractères**, puisqu'on raccourcit l'intervalle de génération et que l'on gagne également en précision. Ce gain de progrès génétique a permis de réorienter la sélection sur les qualités d'élevage, avec des indices de synthèse raciaux qui accordent plus de poids à la santé de la mamelle, la reproduction, la longévité (*cf.* 1^{re} partie). Au niveau du troupeau, les éleveurs peuvent mieux choisir les femelles pour le renouvellement selon leurs objectifs. Le couplage génotypage des femelles et utilisation de la semence sexée garantit l'obtention de femelles mieux adaptées aux

besoins du troupeau (en n'inséminant que les femelles déjà les plus aptes) et, en parallèle, il peut favoriser des stratégies de croisements industriels viande sur les femelles qui ne sont plus nécessaires pour assurer la génération de renouvellement suivante.

3. Sélection et efficacité alimentaire ?

L'alimentation est naturellement une composante essentielle et déterminante des systèmes. En ce sens, la capacité des animaux à transformer l'aliment disponible en matière utile tout en couvrant leurs besoins propres est essentielle. A ce jour, en bovin lait, faute d'enregistrement individuel de l'alimentation des animaux, il n'existe pas d'évaluation génétique de l'efficacité alimentaire. On peut néanmoins raisonnablement se demander si la sélection des vaches laitières a influencé leur capacité à valoriser des rations basées sur des fourrages, leur capacité à pâturer efficacement. Quel avenir et quelles perspectives sur ce sujet en matière de sélection ?

■ Sélection passée, actuelle et efficacité alimentaire ?

L'évaluation génétique s'appuie sur les performances collectées dans l'ensemble des élevages adhérents au contrôle laitier. Elle couvre ainsi 70 % des femelles laitières en production (FGE, 2015). De cette manière, le caractère de production laitière évalué et amélioré par sélection suit par construction les conditions d'alimentation moyenne, en faveur des animaux valorisant le mieux l'alimentation moyenne disponible. Ce dispositif de sélection, en s'appuyant sur les données de 70 % des femelles laitières, est en connexion directe avec les conditions réelles d'élevage parmi les producteurs laitiers français. Toutefois y a-t-il indépendance entre le potentiel génétique sur les caractères de production et la

capacité à valoriser des rations pouvant être plus ou moins limitantes à base de fourrages et pâturage ?

CONVERS et GAUDILLIÈRE (2014) ont étudié l'existence ou non d'une relation entre le potentiel génétique basé sur les caractères de production et la capacité à valoriser des rations à base de fourrages, avec des apports limités en concentrés en race Montbéliarde. Cette étude a été réalisée dans un contexte de production sous AOP en Franche-Comté (Comté, Morbier, Mont d'Or et Bleu de Gex), sur des systèmes herbagers foin/regain (739 élevages considérés sur la campagne laitière 2010-2011). Les auteurs ont mis en évidence une indépendance entre la quantité de concentrés distribués et le niveau génétique moyen (quantité de lait) des cheptels (figure 4). **A même niveau génétique du cheptel, la consommation de concentré par vache laitière peut ainsi varier du simple au double.**

CONVERS et GAUDILLIÈRE (comm. pers.) ont aussi étudié, au sein des élevages possédant les vaches les plus hautes productrices (niveau génétique moyen du troupeau sur le lait supérieur à 240 kg, race Montbéliarde), un groupe d'élevages « économes » (moins de 1,4 t de concentrés/VL/an en moyenne) et un groupe « dépensiers » (plus de 1,6 t de concentrés/VL/an. Ils notent que la santé des mamelles (appréciée par les comptages de cellules somatiques dans le lait) et les performances de reproduction (intervalles, taux de réussite de l'insémination) sont similaires. Les vaches à haut potentiel génétique n'ont donc pas davantage de problèmes de santé de la mamelle ou de reproduction en situation de ration plus « économe ». Cela démontre seulement que **des hautes productrices peuvent être conduites dans des systèmes économes**. Ce travail n'a pas analysé leur efficacité individuelle (conversion de ration en produit lait). DELABY *et al.* (2009), avec des animaux de race Prim'Holstein, concluent également à une indépendance entre le niveau génétique (production laitière) et la valorisation de rations hivernales riches (à base d'ensilage de maïs et concentrés) ou limitées (à base d'herbe conservée et de faibles apports de concentrés). BRUNSCHWIG *et al.* (2001) démontrent également, à partir d'observations en élevages ligériens, que les vaches de race Prim'Holstein hautes productrices valorisent efficacement des rations à base de fourrages, avec des apports limités en concentrés. Ils notent en particulier une bonne capacité d'ingestion et une faculté de « rebond » en lait lorsque le niveau d'apport nutritif s'améliore.

Cette **relative indépendance entre niveau de production (génétique) et capacité à valoriser des rations basées sur l'herbe**, et limitées en apports de concentrés, semble signifier que **l'efficacité alimentaire fait appel à des aptitudes animales spécifiques**.

■ Les nouveaux défis avec l'intégration de l'efficacité alimentaire

La sélection génomique ouvre des perspectives intéressantes, par rapport à la sélection « classique », pour l'amélioration de l'efficacité alimentaire. Actuellement, les indicateurs, du type indice de consommation ou ingéré

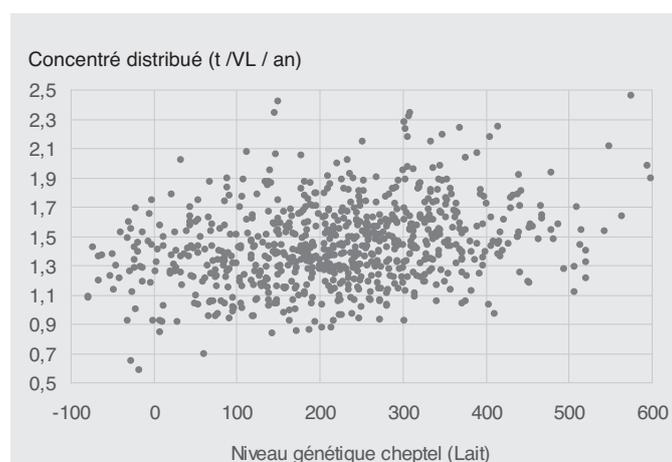


FIGURE 4 : **Quantité de concentré distribuée et niveau génétique du troupeau sont indépendants** (CONVERS et GAUDILLIÈRE, 2014).

FIGURE 4 : **No correlation between herd genetic quality and the amount of concentrates received** (CONVERS and GAUDILLIÈRE, 2014).

résiduel, reposent sur la connaissance de l'ingéré individuel des animaux. Ces quantités précises par animal ne sont disponibles que dans certaines fermes expérimentales, équipées de systèmes de mesure des quantités d'aliments distribuées et refusées. C'est pour cette raison que, jusqu'ici, aucune sélection sur ce critère n'était possible au niveau national car il aurait fallu pouvoir collecter des données d'ingestion individuelle dans un très grand nombre, à défaut de tous les élevages adhérents au contrôle laitier. Mais, avec l'émergence de la génomique, le suivi précis de quelques milliers d'animaux peut suffire. Les animaux suivis dans les fermes expérimentales pourraient être génotypés de façon à pouvoir **identifier les zones du génome (QTL) ayant un effet sur l'efficacité alimentaire**. Cela permettrait de constituer une population dite de « référence » à partir de laquelle on pourrait développer des équations de prédictions génomiques. Ensuite, l'application de ces équations à tous les animaux génotypés permettrait l'estimation de leur potentiel génétique sur le critère de l'efficacité alimentaire.

D'importants travaux de recherche débutent en France sur ce thème, avec le projet DEFFILAIT (2016-2019). Ils visent à i) mieux comprendre les mécanismes impliqués dans les différences individuelles d'efficacité alimentaire, ii) construire le ou les indicateurs robustes de l'efficacité alimentaire, iii) étudier des stratégies d'amélioration de l'efficacité alimentaire (qui peuvent être la sélection génomique mais également l'alimentation de précision) et, à terme, iv) rendre les indicateurs accessibles en élevage, à faible coût, grâce aux nouvelles technologies. A côté des indicateurs directs de l'efficacité alimentaire, disponibles seulement dans les fermes expérimentales, on peut imaginer qu'il existe de bons prédicteurs de l'efficacité, mesurables dans certains élevages équipés de capteurs spécifiques ou non, ces prédicteurs pouvant être le poids vif, la note d'état corporel, la température corporelle... Une fois ces étapes validées, la stratégie de sélection sur ce caractère devra être modélisée et largement discutée par les instances professionnelles. La définition précise de l'objectif est un préalable à la mise en place de la sélection. La relation avec les autres caractères d'intérêt doit être connue pour ne pas détériorer d'autres critères (la santé, la reproduction ...).

4. Le levier génétique pour l'agroécologie ?

Pour assurer des systèmes productifs et durables, les pratiques agroécologiques cherchent à valoriser l'ensemble des ressources disponibles dans le milieu (eau, sols, animaux et végétaux) pour limiter l'utilisation des intrants, favoriser le bouclage des cycles biogéochimiques afin de réduire les émissions polluantes, et préserver la biodiversité afin de tirer parti des services écosystémiques. En génétique des ruminants, il s'agit avant tout d'une question d'adéquation et d'adaptation des génotypes aux milieux où sont élevés les animaux. Dans le cadre d'une étude commanditée et financée par le Ministère en charge

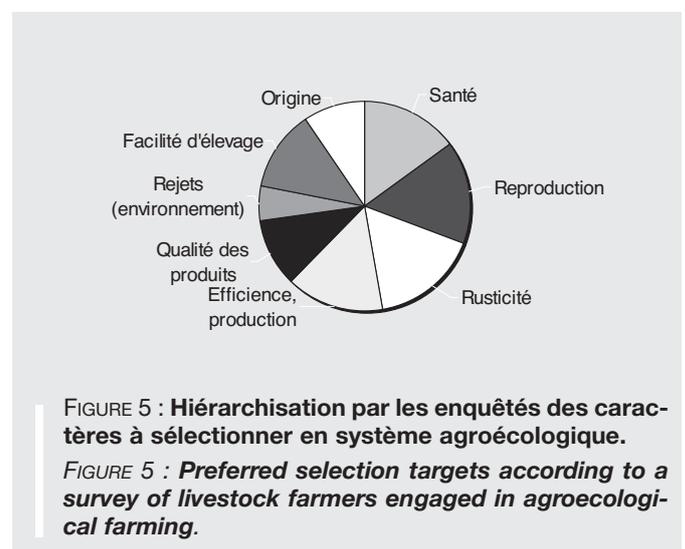
de l'Agriculture (MAAF), PHOCAS *et al.* (2016) se sont intéressés à la contribution du levier génétique au développement de l'agroécologie, au moyen d'une synthèse bibliographique, complétée par des enquêtes en élevages. Les principales conclusions sont relatées ci-après.

■ Point de vue et attentes d'éleveurs en système d'élevage agroécologique

Les éleveurs de ruminants enquêtés (38 dont 10 éleveurs de bovins laitiers) ont été sélectionnés pour leur inscription dans une démarche d'élevage de type agroécologique. Les enquêtés sont très majoritairement (92 %) convaincus que le levier génétique est un bon levier dans une stratégie d'élevage agroécologique. Ils considèrent également, pour 3/4 d'entre eux, que les offres génétiques actuelles, même si elles pourraient être améliorées, leur permettent de poursuivre une stratégie agroécologique.

Les aptitudes animales prioritaires, selon cette enquête, **correspondent à un trio efficacité & production – rusticité – reproduction** (figure 5), sauf en bovin lait où un 4^e groupe « santé » est associé à peu près au même niveau que les autres aptitudes (boiteries et mammites étant très souvent citées). La facilité d'élevage est aussi fréquemment citée, dans quasiment toutes les filières et pour toutes les espèces. D'une manière générale, les éleveurs n'aiment guère établir de priorité entre les différentes aptitudes et préfèrent parler d'aptitude globale, d'efficacité multicritères, d'équilibre entre aptitudes, regroupées sous le terme de rusticité (capacité à produire dans un environnement variable en valorisant les ressources disponibles). **Cette recherche de la multicom pétence peut se traduire par des index de synthèse** qui donneraient un peu plus de poids aux caractères fonctionnels par rapport à la plupart des index de synthèse actuels.

Parmi les caractères pour lesquels il n'y a pas à ce jour d'évaluation génétique des animaux, l'efficacité alimentaire, en conditions de pâturage ou d'alimentation avec des fourrages conservés plus ou moins grossiers, et de complémentation restreinte, est plébiscitée.



■ Pistes et recommandations

Lors de la remise de leur rapport au Ministère, les auteurs recommandent une orientation générale de la sélection vers plus de robustesse, santé, efficacité alimentaire en situation de ressources limitantes et variables (quantité et/ou qualité)... Cela implique, *in fine*, d'encourager la multicompétence des animaux. Il convient également, pour soutenir cette stratégie, d'encourager la constitution de populations de références génomiques, y compris en races locales. Toujours concernant les aptitudes animales, les auteurs précisent que, pour faire face aux changements climatiques, la durabilité des systèmes de production (énergie et médicaments) requiert des animaux résistants aux maladies et aux stress climatiques (température, humidité...).

Ils soulignent aussi l'importance du déploiement d'études pour quantifier l'adaptation des races ou des croisements à une large gamme de systèmes de production agroécologiques. Dans le même ordre d'idées, ils recommandent le développement d'évaluations génétiques en croisement et/ou intégrant les interactions entre génotypes et milieux d'élevage, afin de mettre à disposition des éleveurs les critères génétiques les plus adaptés à leur situation.

Ils considèrent que la valorisation de la diversité des reproducteurs pour une adaptation fine à l'élevage est insuffisante à ce jour et que des développements doivent être réalisés pour tendre vers une « personnalisation » des stratégies génétiques en élevage. Cela doit viser une optimisation du trinôme « objectif de l'éleveur » – « système et potentialité du milieu » – « animal ». En parallèle, l'intérêt de la diversité intra-troupeau pour accroître la résilience des systèmes est actuellement testé en conditions expérimentales.

Enfin, ils mettent en évidence une forte demande de formation et d'accompagnement des éleveurs et conseillers pour l'appropriation des outils génétiques qui ont connu et connaissent de très nombreuses et profondes évolutions ces dernières années. Cette appropriation par les éleveurs et leurs techniciens doit leur permettre d'être en capacité de valoriser la variabilité génétique en phase avec la diversité des milieux et des conduites.

Conclusion

Depuis 25 ans, les objectifs de sélection en bovin lait ont fortement évolué en se rééquilibrant en faveur de certains caractères fonctionnels. Les éleveurs disposent aujourd'hui d'évaluations génétiques pour une sélection efficace vers les principales aptitudes nécessaires à l'adaptation des animaux aux conditions d'élevage (reproduction, santé, longévité fonctionnelle...). Cependant, des questions sur l'adaptation des indicateurs et des animaux à une plus grande diversité de systèmes, en particulier vis-à-vis des systèmes les plus économes en intrants, apparaissent. Les premiers éléments de réponse issus de programmes de recherche tendent à démontrer

la pertinence des évaluations génétiques et des objectifs de sélection sur ces critères. Toutefois, avant de conclure définitivement, il convient d'étendre l'analyse à l'ensemble des caractères fonctionnels, en s'appuyant sur une caractérisation précise des milieux.

L'efficacité alimentaire est devenue un enjeu majeur pour les dispositifs de sélection pour l'avenir. Cela est également ressorti dans le cadre d'une réflexion sur la génétique en tant que levier pour l'agroécologie demandée par le MAAF. Plus globalement, la multicompétence et la robustesse des animaux ressortent comme essentielles pour garantir une génétique adaptée et efficiente dans une diversité de systèmes d'élevage.

Finalement, la problématique de l'adaptation des animaux à leur système se traduit principalement par le défi d'une certaine « personnalisation » des stratégies génétiques en élevage ou « génétique à la carte », en exploitant au mieux la diversité génétique parmi les reproducteurs. Cela implique naturellement de compléter la palette des caractères évalués, voire d'intégrer si besoin des interactions génotype x milieu. Mais cela implique également et dès à présent une bonne appropriation des outils génétiques (en particulier les évaluations génomiques des femelles et l'usage de la semence sexée femelle) pour que chaque éleveur puisse tirer le meilleur parti, dans son système, des ressources génétiques disponibles. Une « génétique à la carte » qui dépendra pour une part non négligeable de la formation. Ce n'est ainsi pas un hasard si l'interprofession laitière (CNIEL) a commandé en 2013 un programme de formation en génétique et si, plus récemment, les éleveurs interviewés dans le cadre de l'étude de PHOCAS *et al.* (2016) ont relevé le besoin important de formation des éleveurs et techniciens.

Accepté pour publication,
le 26 février 2016

Remerciements à N. Gaudillière (Conseil en élevage du Doubs et Territoire de Belfort) et au ministère en charge de l'agriculture qui a commandité, piloté et financé l'étude de PHOCAS *et al.* (2016).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOICHARD D., DUCROCQ V., FRITZ S. (2015) : "Sustainable dairy cattle selection in the genomic era", *J. An. Breeding and Genetics*, 132 (2), 135-143.
- BRUNSCHWIG P., VÉRON J., PERROT C., FAVERDIN P., DELABY L., SEEGER H. (2001) : "Etude technique et économique de systèmes laitiers herbagers en Pays de Loire", *Renc. Rech. Ruminants*, 8, 237-244.
- CONVERS M., GAUDILLIÈRE N., (2014) : *Comment produire du lait à partir de l'herbe : enquête dans des élevages en AOP !*; <http://www.conseilelevage2590.com/comment-produire-du-lait-a-partir-de-lherbe-enquete-dans-des-elevages-en-aop.html> [consulté le 22/12/2015].
- CROUE I. (2013) : *Obtention d'un objectif de sélection en race Montbéliarde par un raisonnement économique ; comparaison entre un système conventionnel et un système biologique*, Rapport de stage, AgroParisTech, 54 p.

- DELABY L., FAVERDIN P., MICHEL G., DISENHAUS C., PEYRAUD J.L. (2009) : "Effect of different feeding strategies on lactation performance of Holstein and Normande dairy cows", *Animal*, 3, 6, 891-905.
- DELABY L., GALLARD Y., LEURENT-COLETTE S. (2012) : *Quelles vaches laitières pour quel système ?*, <http://idele.fr/recherche/publication/idelesolr/recommends/quelles-vaches-laitieres-pour-quel-systeme.html> [consulté le 22/02/2016].
- DILLON P., BERRY D.P., EVANS R.D., BUCKLEY F. HORAN B. (2006) : "Consequences of genetic selection for increased milk production in European seasonal pasture based systems of milk production", *Livestock Sci.*, 99, 141-158.
- DILLON P., MAC DONALD K., HOLMES C.W., LOPEZ-VILLALOBOS N., BUCKLEY F., HORAN B., BERRY D.P., (2007) : "Cow genetics for temperate grazing systems, meeting the challenge for pasture-based dairying", *Proc. Australasian Dairy Sci. Symp.*, 18-20 September, Melbourne, Australie, 152-184.
- FALCONER D.S. (1952) : "The problem of environment and selection", *Am. Nat.*, 86, 293-300.
- FGE (France Génétique Elevage) (2015) : *Dispositif génétique : Chiffres clés ruminants (2014)* ; <http://fr.france-genetique-elevage.org/>
- FRIC D., SPENGLER A. (2014) : "Adéquation de l'élevage aux conditions locales", *Journées Techniques - Sélection animale en AB*, 5-6 novembre 2014, Châteauroux, 45- 53.
- GAY K., WIDMAR N.J.O., NENNICH T.D., SCHINCKEL A.P., COLE J.B., SCHUTZ M.M. (2014) : "Development of a Lifetime Merit-based selection index for US dairy grazing systems", *J. Dairy Sci.*, 97(7), 4568-4578.
- HUQUET B. (2012) : *Utilisation des données de contrôles élémentaires pour la modélisation et l'estimation des interactions génotype x milieu. Étude en bovins laitiers*, thèse de doctorat AgroParisTech ; <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00947191> [consulté le 05/01/216].
- NAUTA W., SPENGLER NEFF A., CONINGTON J., AHLMAN T., LÖVENDAHL P., RYDHMER L. (2012) : "Organic Animal Breeding 2012 - a Position Paper from the European Consortium for Organic Animal Breeding, Eco AB", Rahmann G. et Godinho D. ed., *Tackling the Future Challenges of Organic Animal Husbandry. Proc. the 2nd IFOAM / ISOFAR Int. Conf. on Organic Animal Husbandry*, Hamburg/Trenthorst (Germany), September 12-14, 2012.
- PFEIFFER C., FUERST C., SCHWARZENBACHER H., FUERST-WALTL B. (2016) : "Genotype by environment interaction in organic and conventional production systems and their consequences for breeding objectives in Austrian Fleckvieh cattle", *Livestock Sci.*, 185, 50-55.
- PHOCAS F., BROCHARD M., LARROQUE H., LAGRIFFOUL G., LABATUT J., GUERRIER J. (2013) : "Etat actuel et perspectives d'évolution des objectifs de sélection chez les ruminants", *Renc. Rech. Ruminants*, 20, 129-132.
- PHOCAS F. et BROCHARD M. (coord.), BELLOC C., BIDANEL J., DELABY L., DOURMAD J.Y., DUCROT C., DUMONT B., EZANNO P., FOUCRAS G., FRAPPAT B., GONZALES-GARCIA E., HAZARD D., LAMOTHE L., LARZUL C., LUBAC S., MIGNON-GRASTEAU S., MORENO C., TIXIER-BOICHARD M. (2016) : *Outils et leviers pour favoriser le développement d'une génétique animale adaptée aux enjeux de l'agroécologie. Rapport final de l'étude n°SSP-2014-061* ; <http://agriculture.gouv.fr/outils-et-leviers-pour-favoriser-le-developpement-d-une-genetique-animale-adaptee-aux-enjeux-de-lagros> [consulté le 20/02/2016].
- ROZZI P., MIGLIOR F., HAND K.J. (2007) : "A Total Merit Selection Index for Ontario Organic Dairy Farmers", *J. Dairy Sci.*, 90, 1584-1593.



Association Française pour la Production Fourragère

La revue *Fourrages*

est éditée par l'Association Française pour la Production Fourragère

www.afpf-asso.org



AFPF – Centre Inra – Bât 9 – RD 10 – 78026 Versailles Cedex – France

Tél. : +33.01.30.21.99.59 – Fax : +33.01.30.83.34.49 – Mail : afpf.versailles@gmail.com

Association Française pour la Production Fourragère