

Analyse de la coévolution des pratiques et des performances de troupeaux bovins laitiers de race pure en transition vers une conduite en croisement rotatif trois voies

QUÉNON J. (1), INGRAND S. (2), MAGNE M.-A. (3)

(1) AGIR, Univ Toulouse, INRAE, 31326 Castanet-Tolosan, France

(2) Université Clermont Auvergne, AgroParisTech, INRAE, VetAgro Sup, Territoires, 63000 Clermont-Ferrand, France

(3) AGIR, Univ Toulouse, ENSFEA, INRAE, 31326 Castanet-Tolosan, France

RESUME - L'objectif de cette étude était d'analyser l'évolution de cinq performances zootechniques (production laitière, taux de matière utile, fertilité, santé de la mamelle et longévité) de 13 troupeaux bovins laitiers au cours de la mise en place en leur sein du croisement rotatif trois voies, puis d'identifier des facteurs explicatifs de cette évolution. Nous avons extrait les données raciales, généalogiques et les données de performances de lactation des femelles de ces troupeaux présentes au cours des campagnes 2009 à 2017. Nous avons modélisé par régression linéaire l'évolution des performances des troupeaux au cours de cette période, ainsi que l'évolution d'un jeu de variables décrivant la composition génétique des troupeaux et les pratiques d'élevage. Puis, nous avons identifié les variables qui expliquaient l'évolution des performances des troupeaux au moyen d'une régression des moindres carrés partiels (PLS). Les résultats mettent en évidence que le croisement a eu un effet significatif sur l'évolution de toutes les performances considérées. Cet effet est aussi important que celui de variables relatives à des changements systémiques (conversion à l'agriculture biologique, changement de système fourrager).

Analysis of the co-evolution of practices and performances in French dairy herds during the transition from purebred management towards three-way rotational crossbreeding management

QUÉNON J. (1), INGRAND S. (2), MAGNE M.-A. (3)

(1) AGIR, Univ Toulouse, INRAE, 31326 Castanet-Tolosan, France

SUMMARY - This study aimed at analysing the trends for five performances (milk, fat and protein content, fertility, udder health and longevity) of 13 dairy cattle herds managing three-way crossbreeding, and at identifying its explaining factors. We based our work on breed and pedigree data, as well as lactation performance data of the females in these herds for the 2009-2017 period. We applied linear regression to each herd performance over this period, as well as to the evolution of a set of variables describing the herd composition and breeding practices. We then performed partial least square regression (PLS) to assess explanatory factors of the evolution of herd performances. Our results showed that dairy crossbreeding had a significant effect on the evolution of all performances considered. Dairy crossbreeding had as significant an effect on herd performances as variables describing changes in the farming system (conversion to organic farming, change in forage system).

INTRODUCTION

Malgré ses avantages potentiels, l'utilisation de programme de croisement impliquant trois races (i.e. croisement rotatif trois voies) dans les troupeaux laitiers reste assez rare en France et dans de nombreux pays occidentaux (Quénon et al., 2021). Cette situation est généralement attribuée à un manque de références sur les avantages du croisement à l'échelle du troupeau, que certains travaux se sont appliqués à décrire (Dezetter et al., 2017). Ces travaux reposent sur des approches par modélisation et simulation qui permettent d'évaluer les effets du croisement sur le long terme et de comparer différentes alternatives à une conduite en race pure. En contrepartie, elles reposent sur des simplifications quant aux modes de gestion des troupeaux et de conduite du croisement (e.g. emploi d'un programme de croisement appliqué à l'ensemble du troupeau), ce qui ne permet pas d'intégrer les trajectoires de mise en place du croisement adoptées par les éleveurs dans leurs situations réelles, y compris les changements systémiques qui peuvent être concomitants à l'utilisation du croisement (Quénon et al., 2020a) et leurs effets sur l'évolution des performances du troupeau. Or, pour décider de s'engager dans une conduite de troupeau en croisement rotatif, les éleveur·euse·s ont besoin d'informations sur les effets qu'il induit sur les performances des troupeaux au regard de différentes situations d'élevage initiales et des dynamiques d'évolution des systèmes d'élevage durant la période de transition vers un troupeau géré intégralement ou partiellement en croisement. L'objectif de cette étude est donc (i) d'analyser les tendances d'évolution de performances zootechniques à l'échelle du troupeau (production

laitière, taux de matière utile, fertilité, santé de la mamelle et longévité) induits par l'introduction du croisement rotatif et (ii) d'évaluer les facteurs explicatifs de ces changements.

1. MATERIEL ET METHODES

Nous sommes appuyés sur une étude de cas rétrospective (Lune et Berg, 2017). L'étude repose sur un échantillon de 13 troupeaux bovins laitiers français (7 biologiques, 6 conventionnelles), initialement conduits en race pure (11 en Holstein (Ho), deux en Ho et Montbéliarde) au sein desquels le croisement rotatif à trois voies a été introduit substantiellement (Quénon et al., 2020a), inscrits au contrôle laitier entre 2009 à 2017. La démarche méthodologique générale est inspirée de celle développée par Martin et al. (2017). Elle vise à mettre en relation l'évolution de performances spécifiques de ces 13 troupeaux sur la période 2009-2017 ($n = 117$ troupeaux $\times$ années) avec un ensemble de variables explicatives décrivant : (i) l'état initial des performances, (ii) l'état initial de la composition des troupeaux et (iii) leur évolution suite à l'introduction du croisement ainsi que la structure des exploitations et les pratiques d'élevage.

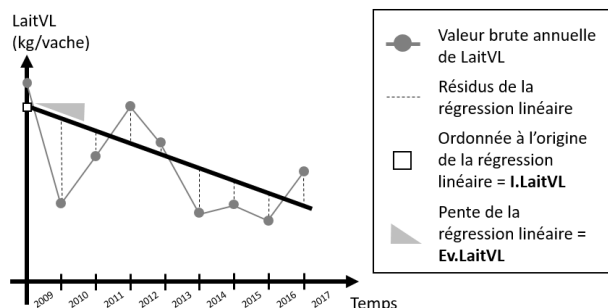


Figure 1 : Modélisation des variables par régression linéaire (exemple de la production laitière : *LaitVL*)

1.1. COLLECTE ET SÉLECTION DES DONNÉES

1.1.1. Performances des troupeaux

Nous avons extrait les données de contrôle laitier des 13 troupeaux pour les campagnes 2009 à 2017. Nous avons agrégé ces données individuelles (6628 lactations de 2726 femelles) pour chaque troupeau $\times$ année, en considérant cinq performances zootechniques : la production laitière moyenne (*LaitVL* en kg/vache laitière) et le taux de matière utile moyen (*TMU* en g/kg), calculé comme la somme des taux butyreux et protéiques moyens. Ensuite, la fertilité des vaches du troupeau (*Fertilité* en %) a été définie comme le pourcentage de vaches avec un intervalle vêlage – insémination fécondante (IVIAF) inférieur à 117 jours : cette valeur correspond à la valeur-seuil des 25 % de vaches les plus fertiles au sein des troupeaux bovins lait français entre 2009 et 2013 (Reproscope, 2022). La performance de santé de la mamelle des vaches du troupeau a été calculée comme le pourcentage de vaches du troupeau sans mammites cliniques (*LactSaine*, en %), c'est-à-dire avec un score moyen de cellules somatiques strictement inférieur à 4 sur la période de lactation (Lipkens et al., 2019). Enfin, pour évaluer la longévité des vaches dans le troupeau, nous avons calculé le pourcentage de vaches en quatrième lactation et plus (*Longevité*, en %).

1.1.2. Composition génotypique des troupeaux

En parallèle, nous avons extrait du Système d'Information Génétique français (SIG) les données raciales et de pedigree pour chaque femelle. Nous avons utilisé ces données pour reconstruire les génotypes croisés de chaque femelle i.e. la combinaison de races utilisées. En raison de la grande diversité des génotypes croisés au sein des 13 troupeaux, nous avons défini six classes de génotypes plus générales, basées sur le type de combinaison des races et le coefficient d'hétérosis $H = 1 - \sum s_i d_i$, où s_i et d_i sont les proportions de gènes de la race i respectivement issues du père et de la mère (VanRaden, 1992). Nous avons agrégé ces données par troupeau $\times$ année afin de décrire la composition des troupeaux i.e. le pourcentage relatif de femelles de chaque classe génotypique au sein des troupeaux : les femelles de race pure (*RP*, en %), les croisées de première génération (*F1*, en %), de deuxième génération issus d'un programme de croisement à deux voies ou d'absorption (*G2_2v*, en %), de deuxième génération issu du croisement rotatif à trois voies (*G2_3v*, en %), de troisième génération issu du croisement rotatif à trois voies (*G3_3v*, en %) et une dernière classe constituée des autres croisements restants (*DivCro*, en %). La composition des troupeaux constitue bien sûr une propriété intrinsèque du troupeau mais est surtout une résultante des pratiques de gestion du croisement.

1.1.3. Pratiques d'élevage

Nous avons mobilisé les résultats d'enquêtes semi-directives (Quénou et al., 2020a) pour définir des variables décrivant la structure de l'exploitation et les pratiques d'élevage, dont nous avons supposé qu'elles pouvaient expliquer l'évolution des performances des troupeaux e.g. le pourcentage de prairies dans la surface fourragère principale (*HerbeSFP*, en %). Nous avons considéré une variable liée à la conduite en agri-

culture conventionnelle stable, à la conversion à l'agriculture biologique (AB) (*ConversionAB*) et à la conduite en AB stable. Enfin, nous avons considéré une variable décrivant le groupe-type de chemin de transition technique vers le croisement laitier i.e. le changement des pratiques de gestion du troupeau par les éleveurs laitiers pour introduire et gérer le croisement laitier (Quénou et al., 2020a). Dans le groupe 1 (*GTT1*), le croisement est introduit sur une grande part du troupeau et supporte une transition réalisée en amont, vers un système plus herbager ou une conversion à l'AB. Le groupe 2 (*GTT2*) est similaire au *GTT1* mais le croisement est introduit plus lentement, sur une part initialement faible du troupeau. Les éleveurs du groupe 3 (*GTT3*) ont quant à eux introduit le croisement sur une part initiale du troupeau importante en utilisant une combinaison de races assez productives, et sans aucun autre changement à l'échelle du système d'élevage.

1.2. REGRESSIONS LINEAIRES

Nous avons modélisé chacune des variables quantitatives (performance et pratique) par régression linéaire en fonction du temps, pour chaque troupeau (Figure 1). Nous avons ensuite extrait les valeurs de pente (ci-après, « *Ev.* < Nom de la variable > ») et d'ordonnée à l'origine (« *I.* < Nom de la variable > »). Les valeurs des pentes (positive, nulle ou négative) reflètent les tendances d'évolution des variables quantitatives, qui ont augmenté, sont restées stables ou ont diminué au cours de la période 2009-2017.

1.3. REGRESSION DES MOINDRES CARRÉS PARTIELS

Nous avons effectué une régression des moindres carrés partiels (régression PLS), qui consiste à générer des combinaisons linéaires de variables (appelées « composantes ») en maximisant le carré de la covariance entre les variables de réponse (*Ev.* < Variable de performance >) et les variables explicatives (*I.* < Variable de performance >, *I.* < Variable de pratique > et *Ev.* < Variable de pratique >). Pour évaluer la capacité prédictive de la régression PLS, nous avons utilisé la valeur totale de $Q^2 = 1 - (SCR/SCT)$, où *SCR* est la somme des carrés résiduels et *SCT* la somme des carrés totaux. Nous avons inclus une composante PLS si $Q^2 \geq 0,0975$ (Tenenhaus, 1998).

2. RESULTATS

2.1. EVOLUTION DES PRATIQUES

L'analyse de la distribution parmi les troupeaux des valeurs de pente pour l'évolution 2009-2017 montre que la part de vaches croisées a augmenté dans tous les troupeaux (Figure 2) : *Ev.Croisee* > 0. L'augmentation de la part de vaches croisées a été faite à des rythmes d'introduction différents (de + 3 à + 14 % par an, méd = + 6 %). La part de vaches *F1* a augmenté dans onze troupeaux, variant de - 8 à + 7 % par an (méd = + 3 %). A l'inverse, la part de vaches *G3_3v* est restée constante et nulle dans la quasi-totalité des troupeaux (11/13), avec seulement deux valeurs positives. Ces troupeaux sont à un stade plus avancé dans la pratique du croisement : les *F1* commencent à être réformées et des génisses *G3_3v* commencent à être intégrées à la troupe laitière.

2.2. EVOLUTION DES PERFORMANCES

L'analyse de la distribution parmi les troupeaux des valeurs de pentes montre deux tendances dans l'évolution des performances (Figure 3). Tout d'abord, certaines performances ont eu une évolution univoque parmi les troupeaux : on observe ainsi, une diminution de la production laitière (de - 19 à - 452 kg/VL/an) associée à une augmentation de la fertilité dans 11 troupeaux (de + 0,8 à + 5,3% par an). A l'inverse, les tendances d'évolution du *TMU*, de la santé de la mamelle et de la longévité sont plus contrastées, en augmentation pour respectivement 8/13, 6/13 et 7/13 troupeaux. La tendance d'évolution du *TMU* varie de - 0,5 à + 1,0 g/kg/VL/an (mé-

diane (méd) = + 0,1 g/kg/VL par an), celle de la santé de la mamelle de - 11 à + 2 % par an (méd = - 0,1 %/an) et celle de la longévité de - 2 à + 3 % par an (méd = + 0,4 %/an).

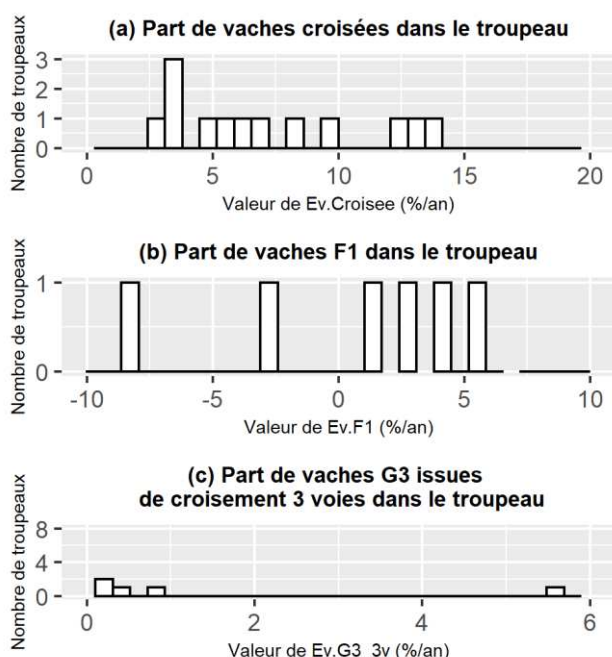


Figure 2 : Distribution des valeurs des pentes d'évolution de la composition génotypique pour les 13 troupeaux

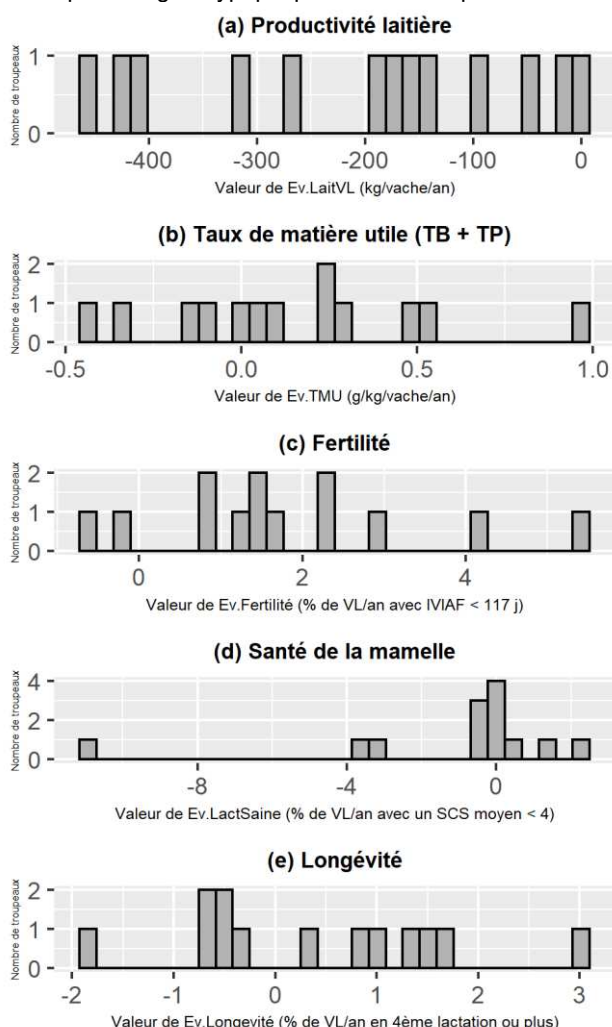


Figure 3 : Distribution des valeurs des pentes d'évolution des performances pour les 13 troupeaux :

2.3. FACTEURS EXPLICATIFS DE L'ÉVOLUTION DES PERFORMANCES

Nous avons retenu les deux premières composantes ($Q^2 > 0,0975$) de la régression PLS pour analyser la relation entre les variables de réponse (*Ev.LaitVL*, *Ev.TMU*, *Ev.Fertilité*, *Ev.LactSaine* et *Ev.Longévité*) et les variables explicatives. La projection sur la composante 1 oppose *Ev.LaitVL* et *Ev.LactSaine* d'une part, et *Ev.Longévité* d'autre part. L'analyse de leurs coefficients d'association avec les variables explicatives (Tableau 1) montre que les dégradations de *LaitVL* et de *LactSaine* des troupeaux sont d'autant plus importantes pour les troupeaux avec une part initiale de race pure élevée (- 0,58) i.e. qui en étaient à une phase précoce de la conduite du croisement. La production laitière a d'autant plus chuté que la part de F1 augmente rapidement (- 0,56) i.e. que l'éleveur-euse a introduit le croisement rapidement au sein du troupeau. Une conversion à l'AB en parallèle est également un facteur associé à une dégradation de *LaitVL* (- 0,50). Cette dégradation est d'autant plus faible pour les troupeaux du GTT3 (+ 0,41), ce qui peut s'expliquer par la stabilité de leur système fourrager et le recours à des programmes de croisement avec des races productives en lait. De même, la dégradation de *LaitVL* est limitée par une part initialement élevée de femelles G2_3v (+ 0,48) et l'augmentation de la part de G3_3v (+ 0,51) i.e. la poursuite de la conduite du croisement trois voies jusqu'au retour à la race de départ, généralement Ho. À l'inverse, l'augmentation de la longévité des vaches du troupeau est associée positivement à des troupeaux avec une part initialement élevée de vaches de race pure (+ 0,54), où la proportion de femelles F1 augmente dans le troupeau (+ 0,52) et celle de G3_3v diminue (- 0,46). La projection sur la composante 2 oppose *Ev.TMU* d'une part et *Ev.Fertilité* d'autre part. L'analyse de leurs coefficients d'association avec les variables explicatives (Tableau 2) montre que l'augmentation du taux de matière utile est associée positivement à des troupeaux dont la part de vaches croisées a beaucoup augmenté (+ 0,39), au sein de systèmes herbagers (+ 0,31), avec des troupeaux qui avaient initialement un niveau de fertilité élevé (+ 0,42) et une production laitière par vache faible (- 0,35), e.g. les troupeaux du GTT1 (+ 0,34), qui ont introduit le croisement pour adapter les animaux à un changement de système herbager et/ou une conversion à l'AB. À l'inverse, le niveau de fertilité a d'autant plus augmenté dans les troupeaux où il était initialement faible (- 0,35). De plus, le niveau de fertilité a davantage augmenté dans les troupeaux où le croisement a été introduit lentement (- 0,32).

3. DISCUSSION

Tout d'abord, nos résultats ont montré des tendances d'évolution qui diffèrent selon la performance considérée. Ainsi, la fertilité s'est améliorée dans tous les troupeaux échantillonnés au cours de la période où a été mis en place et géré le croisement, amélioration qui constitue une des principales motivations des éleveur-euse-s pour adopter le croisement laitier (Magne et Quénon, 2021). Toutefois, l'effet du croisement sur la fertilité est non seulement dépendant du niveau de fertilité initial du troupeau mais aussi du rythme auquel est conduit le croisement : la fertilité a d'autant plus augmenté dans les troupeaux où elle était initialement faible ; or ces troupeaux sont ceux où le croisement a été introduit lentement. Ceci explique l'association positive entre l'augmentation de la fertilité et une augmentation faible des croisées dans le troupeau, à première vue contre-intuitive (Hazel et al., 2014). À l'inverse, la production laitière moyenne des vaches a diminué dans tous les troupeaux : ces résultats confortent ceux obtenus à l'échelle de l'animal (Dezetter et al., 2019) et par modélisation-simulation (Dezetter et al., 2017).

Variable explicative	Variable de réponse (Composante 1)		
	Ev.LaitVL	Ev.LactSaine	Ev.Longevite
I.RP	- 0,58	- 0,45	+0,54
Ev.F1	- 0,56	- 0,44	+ 0,52
ConversionAB	- 0,50	- 0,38	+ 0,46
GTT3	+ 0,41	/	- 0,38
Ev. G3_3v	+ 0,51	+ 0,39	- 0,46

Tableau 1 Valeurs des coefficients d'association entre variables de réponse et variables explicatives pour la composante 1 de la régression PLS. Une valeur positive (en gras) indique une association positive entre l'augmentation de la variable de réponse et de la variable explicative

Variable explicative	Variable de réponse (Composante 2)	
	Ev.TMU	Ev.Fertilite (>0)
I.LaitVL	- 0,35	+ 0,29
I.HerbeSFP	+ 0,31	- 0,26
GTT1	+ 0,34	- 0,28
Ev.Croisee	+ 0,39	- 0,32
I.Fertilite	+ 0,42	- 0,35

Tableau 2 Valeurs des coefficients d'association entre variables de réponse et variables explicatives pour la composante 2 de la régression PLS.

En revanche, les tendances d'évolution des performances de TMU, de santé de la mamelle et de longévité des vaches sont plus contrastées parmi les troupeaux de notre échantillon que ce que l'on retrouve dans ces études. Il s'agit de performances pour lesquelles le rôle des pratiques d'alimentation, de gestion de la santé et de renouvellement du troupeau sont déterminantes et donc fortement variables entre les fermes échantillonnées. Nos résultats mettent en évidence un effet du croisement sur les performances du troupeau aussi important que des changements systémiques mis en place par les éleveur-euse-s (conversion à l'AB, système herbager). Cet effet s'inscrit différemment selon le stade d'avancement dans la conduite du croisement : l'introduction du croisement, qui a pour effet de substituer des vaches F1 aux vaches RP du troupeau, génère une perte immédiate de production laitière du troupeau (Clasen et al., 2019), ainsi qu'une augmentation de la longévité des vaches dans les troupeaux. Cependant, pour les troupeaux à un stade plus avancé dans la conduite du croisement, l'augmentation de la part de G3_3v, correspondant à un croisement de retour avec un mâle de la race de départ, aboutit à un maintien de la production laitière. Nos résultats montrent également qu'améliorer conjointement les cinq performances n'est pas possible. Ceci illustre les conséquences à l'échelle du troupeau bovin laitier de la diversité de profils individuels de *trade-offs* (Blanc et al., 2013). Ce faisant, ils montrent que l'évolution de la multi-performance du troupeau est contrainte par la diversité des éléments biotechniques – performance, génotype – que les éleveur-euse-s doivent gérer pour en tirer profit (Tichit et al., 2011; Magne et al., 2016). Ce choix de priorisation est éminemment lié à la situation initiale des performances zootechniques et donc de la situation initiale de la multi-performance du troupeau car cette dernière reflète la marge de manœuvre dont dispose l'éleveur-euse pour arbitrer ce choix. Nos résultats, comme ceux de Dezetter et al. (2017), soulignent le rôle majeur que joue la situation initiale d'une performance zootechnique donnée sur son évolution suite à la mise en place du croisement dans le troupeau, et la différence de cet effet de l'état initial selon la performance considérée. Dans cette étude, nous avons adapté une méthode statistique développée par Martin et al. (2017) que nous avons choisie car elle permet une analyse holistique en reliant les variables de réponse aux variables explicatives qui décrivent les pratiques agricoles, ce qui permet d'intégrer les changements qui surviennent. En revanche, notre approche par étude de cas, si elle a permis une collecte d'informations fines sur les pratiques de gestion du troupeau, présente l'inconvénient d'une taille d'échantillon faible, accentuée par la proportion faible d'inscription au con-

trôle laitier parmi les troupeaux initialement échantillonnés. De plus, la modélisation par régression linéaire ne permet pas de saisir les tendances d'évolution particulières de variables propres à décrire la démographie d'un troupeau au sein duquel est introduit le croisement laitier (e.g pourcentage de vaches F1 dans le troupeau, qui va initialement augmenter, puis diminuer suite au renouvellement des générations de croisement au sein du troupeau), ce qui ouvre des perspectives méthodologiques pour décrire plus finement les évolutions des pratiques de croisement et les performances qu'elles génèrent : les méthodes de partitionnement des données longitudinales semblent à ce titre prometteur (Genolini et Falissard, 2011).

CONCLUSION

Ces résultats enrichissent les connaissances sur le croisement laitier par une analyse des modalités opérationnelles de sa mise en place et de sa conduite dans le temps en prenant en compte conjointement les dimensions biologiques et décisionnelles qui construisent sur le long terme la multiperformance des troupeaux et la diversification génétique induite dans les troupeaux par l'utilisation du croisement.

Ce travail a bénéficié des financements du département ACT, de la région Occitanie, du CS de l'ENSFEA, du projet PSDR4 ATA-RI. Les données ont été fournies par les Ch. d'Agriculture, INRAE, les organismes de contrôle de performances et d'IA et les organismes de sélection aux SNIG. Nous remercions les éleveur-euse-s de nous avoir autorisé à accéder à leurs données. Nous remercions également A. Perrin pour son aide.

- Blanc, F., Ollion, E., Puillet, L., Delaby, L., Ingrand, S., Tichit, M., Friggens, N.C., 2013. Renc. Rech. Ruminants, 20, 265-272
- Peñagaricano, F., Schinckel, A.P., Baes, C.F., Miglior, F., 2021. Animal, 15 Suppl 1, 14 p.
- Clasen J., Fogh A., Kargo M., 2019. J. Dairy Sci., 102, 436-441
- Dezetter, C., Bareille, N., Billon, D., Côrtes, C., Lechartier, C., Seegers, H., 2017. J. Dairy Sci., 100, 8239-8264
- Dezetter, C., Boichard, D., Bareille, N., Grimard, B., Le Mézec, P., Ducrocq, V., 2019. INRA Prod. Anim. 32:359-378
- Genolini, C., Falissard, B. 2011. Comp. Meth. Prog. Bio., 104
- Hazel, A. R., Heins, B. J., Seykora, A. J., Hansen, L. B. 2014. J. Dairy Sci., 97, 2512-2525
- Lipkens Z., Piepers S., Verbeke J., De Vliegher S., 2019. J. Dairy Sci., 102, 640-651
- Lune, H., Berg, B., 2017. In Lune H., Berg B. Methods for the social sciences, Pears. Educ. Lim., Angleterre 170-172
- Magne M.-A., Thénard, V., Mihout, S., 2016. Animal, 10, 892-901
- Magne M.-A., Nozières, M.-O., Cournut S., Ollion E., Puillet L., Renaudeau D., Fortun-Lamothe L. 2019. INRA Prod. Anim, 32, 263-280
- Magne, M.-A., Quénon, J., 2021. Agronomy Sus. Dev. 41, 25.
- Martin, G., Magne, M.-A., San Cristobal, M., 2017. F. Pla. Sci. 8.
- Quénon, J., Ingrand S., Magne M.-A., 2020a. Animal, 14, 1293-1303
- Quénon, J., Ingrand S., Magne M.-A., 2020b. Renc. Rech. Ruminants, 25, 437-440
- Reproscope. 2022. <http://www.reproscope.fr/>
- Tenenhaus, M., 1998. In Tenenhaus, M., La Régression PLS. Théorie et Pratique, Technip, France
- Tichit, M., Puillet, L., Sabatier, R., Teillard, F., 2011. Liv. Sci, 139, 161-171
- VanRaden, P.M. 1992. J. Dairy Sci., 75, 3136-3144