

La diversité intra-troupeau : un levier de robustesse pour les troupeaux bovins laitiers

BLANC F. (1), CHASSAING C. (1)

(1) Université Clermont Auvergne, VetAgro Sup, INRAE, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle,

RESUME

La transition agroécologique des systèmes d'élevage s'accompagne généralement d'une plus forte exposition des animaux aux aléas. Par conséquent, l'aptitude des troupeaux à faire face et résister aux perturbations (robustesse) joue un rôle clé dans cette transition. La diversité est présentée comme un levier de robustesse mais son intérêt en élevage mérite d'être objectivé en raison d'un nombre de résultats encore trop limité sur ce sujet. Notre étude a porté sur des troupeaux bovins laitiers et a eu deux objectifs principaux : 1/ tester la relation entre la diversité intra-troupeau et la robustesse des performances du troupeau sur le long terme et 2/ préciser les critères sur lesquels les éleveurs caractérisent la diversité au sein d'un troupeau et les intérêts qu'ils lui attribuent. L'étude a été menée à partir de données issues du contrôle de performances et d'enquêtes. Elles concernent 92 troupeaux bovins laitiers situés dans les départements de l'Allier (n=31) et du Cantal (n=61) et couvrent 17 années (2000-2016). La diversité intra-troupeau a été caractérisée par trois index de diversité élémentaires rendant compte de la diversité génétique, des stades physiologiques et des rangs de lactation ainsi que par un index synthétique de diversité intra-troupeau (somme des trois index élémentaires). Les robustesses de la production laitière et des intervalles vêlage-vêlage (IVV) moyens du troupeau ont été estimées au travers de la stabilité de ces deux variables sur la période 2000-2016. Des classes de diversité-robustesse ont été établies en réalisant une ACP et une CAH sur les trois index de diversité élémentaires et les deux variables de robustesse. Des entretiens ont été conduits auprès de 40 éleveurs pour analyser leur perception de la diversité intra-troupeau et les intérêts qu'ils lui attribuent. La robustesse de la production laitière moyenne du troupeau sur la période 2000-2016 et la robustesse des IVV moyens augmentent avec l'index synthétique de diversité intra-troupeau. Pour les éleveurs, la diversité intra-troupeau se qualifie d'abord par des différences de couleur et de morphologie puis de tempérament, de race et de production laitière. Trente-deux pourcent des éleveurs considèrent que la diversité génétique a un intérêt pour la performance économique, 17 % pour la conduite des vaches, 12,5 % pour la santé du troupeau et 10% pour le plaisir. La diversité des stades physiologiques est perçue comme un levier d'adaptation aux contraintes structurelles de l'exploitation pour 77,5 % des éleveurs et comme un support de performance économique pour 65 % d'entre eux. Ces résultats montrent que la diversité intra-troupeau est associée à une plus grande stabilité des performances sur le long terme et qu'elle est perçue par les éleveurs comme un levier d'adaptation aux spécificités de leur système.

Intra-herd diversity: a lever of robustness for dairy cows herds

BLANC F. (1), CHASSAING C. (1)

(1) Université Clermont Auvergne, VetAgro Sup, INRAE, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle

SUMMARY

The agroecological transition of livestock systems is generally accompanied by a greater exposure to hazards. Consequently, the ability of herds to face and resist disturbances (robustness) plays a key role in this transition. Diversity is often highlighted as a lever to face perturbations but its role in livestock still needs to be objectively assessed due to the lack of studies available. Our study focused on dairy herds and had two main objectives: 1/ to test the relationship between intra-herd diversity and robustness of performances over the long term and 2/ to specify the criteria on which farmers characterize herd diversity and the interests they find in it. The study was carried out using data from milk control and surveys. It concerns 92 dairy herds and covers 17 years (2000-2016). Intra-herd diversity was characterized by three elementary diversity indexes that respectively account for genetic diversity, diversity of physiological stages and diversity of lactation ranks, as well as by a synthetic index of intra-herd diversity (sum of the three elementary indexes). The robustness of the herd was estimated through the stability of milk production and of calving to calving interval (CCI) over the period 2000-2016. Classes of diversity-robustness were established by performing a PCA and AHC on the three elementary diversity indexes, milk yield robustness and CCI robustness. Surveys were conducted with 40 farmers to analyse how they define herd diversity and what interests they find in it. Robustness of the average milk production of the herd over the period 2000-2016 and robustness of the average CCI increase with the synthetic index of intra-herd diversity. For breeders, intra-herd diversity is primarily qualified by differences in color and morphology, temperament, breed and milk production. Thirty-two percent of the farmers consider that genetic diversity has an interest for economic performance, 17 % for the management of cows, 12.5 % for herd health and 10% associate it to an emotional dimension. The diversity of physiological stages is perceived as a lever to adapt to structural constraints for 77.5% of the farmers and to support economic performance for 65%. These results show that intra-herd diversity is associated with a greater stability of herd performances and is perceived by the farmers as a lever to adapt to the specificities of their system.

INTRODUCTION

Le modèle d'élevage dominant a longtemps cherché à réduire la variabilité intra-troupeau pour répondre à des objectifs d'homogénéisation des performances et des modes de conduite, de simplification du travail et d'accroissement des effectifs. Parallèlement, dans ces systèmes, les pratiques et milieux de vie des animaux ont été définis de manière à réduire au maximum les sources de variabilité environnementale afin

de placer les animaux dans des conditions stables et optimales permettant l'expression de leur potentiel génétique (ten Napel *et al.* 2006). Aujourd'hui, face au défi du changement climatique et aux nouvelles attentes sociétales, ces modèles d'élevage sont remis en question. L'élevage de demain doit s'inscrire dans la transition agroécologique et réduire son recours aux intrants (énergie, engrais chimiques, médicaments, aliments concentrés...) (Dumont *et al.*, 2013),

ce qui le rend potentiellement plus vulnérable vis-à-vis des perturbations extérieures. Dans ce contexte, la robustesse ou aptitude des systèmes à "tamponner" les effets de perturbations et à maintenir leurs performances dans des environnements variables (Darnhofer, 2014), apparaît comme une propriété fondamentale pour garantir leur pérennité (Urruty *et al.*, 2015). Identifier les leviers de robustesse au sein des systèmes d'élevage est donc un enjeu pour accompagner leur transition agroécologique. Parmi les leviers de la robustesse, la diversité est considérée comme pouvant jouer un rôle clé (Altieri *et al.*, 2015; Dumont *et al.*, 2020). Cette hypothèse repose sur l'idée qu'une plus grande diversité au sein d'un système génère plus d'hétérogénéité fonctionnelle et lui confère ainsi une plus grande aptitude à faire face aux perturbations (Biggs *et al.*, 2012). Plusieurs travaux relativement récents ont été menés sur les systèmes d'élevage de ruminants afin de mettre à l'épreuve cette hypothèse. Les études disponibles reposent sur des démarches de modélisation ou des observations empiriques (Dumont *et al.*, 2020), et se sont principalement intéressées aux contributions de la diversité des espèces ou des races (Nozières *et al.*, 2011; Mugnier *et al.*, 2021), des interactions entre composantes du système (Sneessens *et al.*, 2019) ou encore des conduites d'élevage (Benoit *et al.*, 2020) sur la productivité des systèmes d'élevage et leur capacité à s'adapter aux fluctuations (économiques, climatiques, sanitaires) de l'environnement. En revanche peu de travaux ont cherché à objectiver la contribution de la diversité intra-troupeau à la robustesse du système. Les investigations menées à cette échelle reposent principalement sur des approches de simulation (Blanc *et al.*, 2013) mais les démonstrations issues d'approches expérimentales ou d'observations empiriques restent rares. Notre étude se positionne dans cette perspective. Elle a été menée sur des troupeaux bovins laitiers inscrits au contrôle de performances et avait deux objectifs principaux : 1/ tester l'existence d'une relation entre la diversité intra-troupeau et la stabilité des performances sur le long terme (indicateur de robustesse), et 2/ préciser les critères sur lesquels les éleveurs caractérisent la diversité au sein d'un troupeau et identifier quels intérêts ils lui attribuent.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. ANALYSE DU LIEN ENTRE DIVERSITE INTRA-TROUPEAU ET STABILITE DES PERFORMANCES

L'analyse a porté sur les données issues du contrôle de performances laitières de 92 troupeaux bovins laitiers situés dans le Bocage Bourbonnais (BB, zone de plaine, n=31) et sur la communauté de communes de Saint Flour (SF, zone de montagne, n=61). Les données ont été analysées sur la période 2000-2016. La durée moyenne de suivi des troupeaux a été de $16,3 \pm 1,6$ années consécutives (min=10 ans, max=17 ans). Au total, le jeu de données concerne 68 081 lactations individuelles de plus de 250 jours, ayant une production annuelle supérieure à 1000 kg de lait.

1.1.1 Caractérisation de la diversité intra-troupeau

Dans cette étude, la diversité intra-troupeau a été décrite sur la base de trois composantes : la diversité génétique et les diversités de stades et de rangs de lactation. Pour chacun des 92 troupeaux, l'index de diversité de Shannon (Stirling, 2007, Eq 1) a été utilisé pour quantifier chacune de ces composantes.

Eq 1 : $Div = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$, avec n : nombre total de catégories (n=17 races et croisements pour la diversité génétique, n=12 mois de vêlage pour la diversité des stades physiologiques, n=15 rangs pour la diversité des rangs de lactation), p_i proportion d'individus dans la catégorie i.

Les index de diversité de Shannon ont été calculés par troupeau et par an sur la période 2000-2016. La médiane de ces index élémentaires a ensuite été calculée pour chaque troupeau sur l'ensemble de la période pour obtenir trois index

de diversité médians : $Div_gen_{2000-2016}$, $Div_stad_{2000-2016}$ et $Div_rang_{2000-2016}$. Un index synthétique de diversité ($Div_synth_{2000-2016}$) a ensuite été défini pour chaque troupeau comme la somme des index élémentaires médians.

Des classes de diversité intra-troupeau ont été obtenues à partir d'une analyse en composantes principales suivie d'une classification ascendante hiérarchique (ACP1-CAH1) réalisées sur les variables $Div_gen_{2000-2016}$, $Div_stad_{2000-2016}$ et $Div_rang_{2000-2016}$. Le nombre de classes a été déterminé au regard du saut d'inertie.

1.1.2 Caractérisation de la robustesse du troupeau

La robustesse de chaque troupeau a été définie comme la "capacité à maintenir un niveau souhaité de performance malgré l'occurrence de perturbations" (Urruty *et al.*, 2015). Un troupeau présentant une faible variabilité de ses performances au cours du temps pourra ainsi être qualifié de robuste. Nous avons donc cherché à quantifier la variabilité de la production laitière moyenne (PLmoy) et de l'intervalle vêlage-vêlage moyen (IVVmoy) de chaque troupeau au cours de la période 2000-2016. Celle-ci peut se décomposer en une tendance moyenne et une variabilité résiduelle (RSE) qui rend compte des fluctuations de la performance autour de la tendance moyenne (figure 1). Plus RSE est faible, plus le troupeau peut être considéré comme robuste. Un indice de robustesse (Eq 2) a ainsi été calculé pour la production laitière moyenne ($R_PLmoy_{2000-2016}$) et l'intervalle vêlage-vêlage moyen ($R_IVVmoy_{2000-2016}$) de chaque troupeau sur la période 2000-2016.

Eq 2 : $R = 1/RSE$, où RSE est l'erreur résiduelle du modèle de régression linéaire $Y = f(\text{temps})$ ajusté sur la période 2000-2016, avec $Y=PLmoy$ ou $IVVmoy$.

1.1.3 Caractérisation de la relation entre diversité intra-troupeau et robustesse

La corrélation entre $Div_synth_{2000-2016}$ et les deux variables de robustesse $R_PLmoy_{2000-2016}$ et $R_IVVmoy_{2000-2016}$ a été testée. Les effets de $Div_gen_{2000-2016}$, $Div_stad_{2000-2016}$, $Div_rang_{2000-2016}$ et de $PLmoy_{2000-2016}$ (valeur médiane des PLmoy sur la période 2000-2016) sur la robustesse des productions laitières moyennes et des intervalles vêlage-vêlage moyens ont été analysés à l'aide d'un modèle linéaire. Une analyse en composantes principales suivie d'une classification ascendante hiérarchique (ACP2-CAH2) a été réalisée sur les variables, $Div_gen_{2000-2016}$, $Div_stad_{2000-2016}$, $Div_rang_{2000-2016}$, $R_PLmoy_{2000-2016}$ et $R_IVVmoy_{2000-2016}$ afin

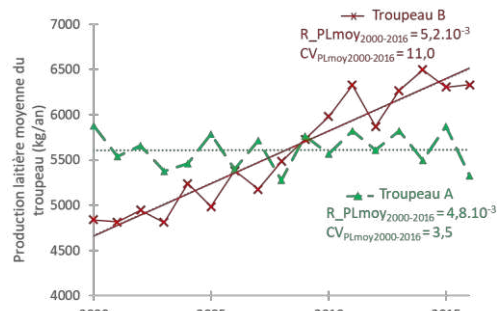


Figure 1 : Evolution sur la période 2000-2016 de la PLmoy de deux troupeaux ayant des indices de robustesse ($R_PLmoy_{2000-2016}$) semblables mais des évolutions moyennes de PLmoy contrastées.

Cette figure illustre l'intérêt de l'indicateur de robustesse retenu pour rendre compte de la variabilité de la performance autour de la tendance moyenne comparativement au coefficient de variation (CV).

d'identifier des groupes de troupeaux présentant des profils de diversité intra-troupeau et de robustesse des performances distincts. Le nombre de classes a été déterminé au regard du saut d'inertie.

1.2. ENTRETIENS AUPRES DES ELEVEURS

Des entretiens semi-directifs ont été menés auprès d'un échantillon de 40 éleveurs laitiers (BB, n=15 ; SF, n=25), dont les troupeaux étaient répartis dans les classes de diversité intra-troupeau issus de l'analyse ACP1-CAH1. L'objectif était de recueillir les critères sur lesquels les éleveurs perçoivent de la diversité au sein d'un troupeau de vaches laitières et de les interroger sur les intérêts qu'ils associent à la diversité génétique et à la diversité des stades et des rangs de lactation au sein du troupeau. Tous les entretiens ont été transcrits intégralement. Leur contenu a été découpé, réparti et codé dans une grille de dépouillement. Une analyse thématique a été conduite pour décrire d'une part les différentes formes de diversité intra-troupeau perçues par les éleveurs et d'autre part les intérêts associés à chacune des trois formes de diversité pré identifiées dans notre approche (types génétiques, stades physiologiques et rangs de lactation). Les réponses ont été analysées par modalité et la fréquence de citation de chacune de ces modalités a été calculée (plusieurs modalités possibles pour un même éleveur). Des citations des éleveurs enquêtés ont permis d'illustrer et de préciser cette analyse. Nous avons également étudié si les réponses des éleveurs différaient selon la classe de diversité-robustesse de leur troupeau.

2. RESULTATS

2.1. CARACTERISATION DE LA DIVERSITE INTRA-TROUPEAU

En moyenne, sur les 92 troupeaux laitiers étudiés, l'index synthétique de diversité (Div_synth₂₀₀₀₋₂₀₁₆) s'élève à $3,96 \pm 0,47$. Il est négativement corrélé avec PL_{moy2000-2016} (Figure 2, $r=-0,63$, $p<0,0001$).

Trois profils de diversité intra-troupeau sont observés dans la population. Le premier (Div-, n=29) présente une faible diversité génétique et des diversités de rangs et de stades de lactation significativement plus faibles que dans les deux autres profils (tableau 1). Les troupeaux Div+ (n=43) se caractérisent par une faible diversité génétique mais une forte diversité de rangs et de stades de lactation. Les troupeaux Div++ (n=20) ont les valeurs de diversité les plus élevées pour les trois composantes analysées (tableau 1).

2.2 LIEN ENTRE DIVERSITE INTRA-TROUPEAU ET ROBUSTESSE DES PERFORMANCES

Les robustesses de la production laitière moyenne du troupeau et des IVV moyens sont positivement corrélées avec l'index synthétique de diversité intra-troupeau ($r = 0,46$, $p<0,001$ et $r = 0,23$, $p=0,02$, respectivement). Sur les quatre variables testées (Div_gen₂₀₀₀₋₂₀₁₆, Div_stad₂₀₀₀₋₂₀₁₆, Div_rang₂₀₀₀₋₂₀₁₆ et PL_{moy2000-2016}) seules PL_{moy2000-2016} et Div_stad₂₀₀₀₋₂₀₁₆ ont un effet significatif sur R_PL_{moy2000-2016} et seules PL_{moy2000-2016} et Div_rang₂₀₀₀₋₂₀₁₆ ont un effet significatif sur R_IVV_{moy2000-2016}. La robustesse de la production laitière moyenne diminue avec PL_{moy2000-2016} ($p<0,001$) et augmente avec Div_stad₂₀₀₀₋₂₀₁₆ ($p<0,05$). La robustesse des IVV moyens augmente avec PL_{moy2000-2016} ($p<0,05$) et Div_rang₂₀₀₀₋₂₀₁₆ ($p<0,001$).

Les troupeaux BB ont une diversité intra-troupeau inférieure à celle des troupeaux SF ($3,60 \pm 0,33$ vs $4,14 \pm 0,42$, $p<0,01$) et une moindre robustesse de leurs production laitière moyenne ($2,1 \cdot 10^{-3} \pm 0,9 \cdot 10^{-3}$ vs $2,7 \cdot 10^{-3} \pm 0,8 \cdot 10^{-3}$, $p<0,001$) et de leurs IVV ($0,05 \pm 0,02$ vs $0,07 \pm 0,03$, $p<0,01$). Sur l'ensemble des 92 troupeaux étudiés nous observons trois classes ayant des profils de diversité-robustesse distincts. Les troupeaux de la classe 1 (Div-/R-, n=44) sont les moins diversifiés globalement et présentent les index de diversité

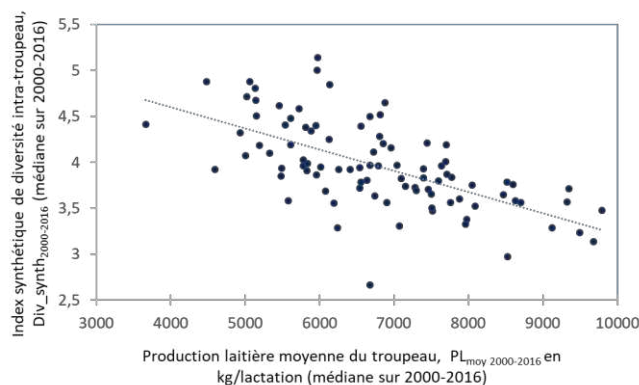


Figure 2 : Relation entre l'index synthétique de diversité intra-troupeau et la médiane de la production laitière moyenne du troupeau sur la période 2000-2016 (n=92).

	Div-	Div+	Div++
Effectif	29	43	20
Div_synth ₂₀₀₀₋₂₀₁₆	$3,5 \pm 0,29$ a ¹	$3,95 \pm 0,21$ b	$4,63 \pm 0,24$ c
Div_gen ₂₀₀₀₋₂₀₁₆	$0,09 \pm 0,16$ a	$0,08 \pm 0,10$ a	$0,69 \pm 0,22$ b
Div_stad ₂₀₀₀₋₂₀₁₆	$1,89 \pm 0,19$ a	$2,21 \pm 0,08$ b	$2,17 \pm 0,07$ b ²
Div_rang ₂₀₀₀₋₂₀₁₆	$1,53 \pm 0,11$ a	$1,66 \pm 0,15$ b	$1,77 \pm 0,14$ c

Tableau 1 : Caractérisation des trois classes de diversité obtenues à partir de l'ACP1-CAH1 réalisée sur les différents index de diversité (moyennes $\pm$ écart type). ¹ Les valeurs ayant des lettres différentes sur une même ligne diffèrent au seuil de $p<0,05$ (test de Kruskal-Wallis). ² $p=0,06$ avec Div+.

élémentaires les plus faibles (tableau 2). Ce sont majoritairement des troupeaux du BB (59 %) qui présentent la production laitière moyenne la plus élevée sur la période 2000-2016 et les IVV moyens les plus importants. Ils comportent en moyenne $1,5 (\pm 0,6)$ types génétiques, ont des vêlages étalés sur $9,3 \pm 1,3$ mois et leur rang moyen de lactation est le plus faible ($2,5 \pm 0,3$). Les troupeaux de cette classe ont les plus faibles robustesses de la production laitière et des IVV. Les troupeaux des classes 2 (Div+/Div_{stad}+/R+, n=31) et 3 (Div+/Div_{gen}+/R+, n=17) sont majoritairement des troupeaux SF (87 % et 94 % respectivement). Ceux de la classe 2 ont une diversité de stades physiologiques plus élevée que ceux de la classe 3. Ces derniers ont la plus forte diversité intra-troupeau et sont les moins productifs. Ils se distinguent des troupeaux de la classe 2 par une diversité génétique 5,5 fois plus importante. Les troupeaux des classes 2 et 3 ont des IVV moyens semblables et inférieurs à ceux des troupeaux de la classe 1. Ils ont les mêmes niveaux de robustesse pour la production laitière et pour les IVV (tableau 2).

2.3. INTERETS DE LA DIVERSITE POUR LES ELEVEURS

Parmi les 40 éleveurs enquêtés, 17 sont dans la classe 1 (Div-/R-, 15 dans la classe 2 (Div+/Div_{stad}+/R+) et 8 dans la classe 3 (Div+/Div_{gen}+/R+). A la question " *Qu'est-ce qui vous fait dire qu'un troupeau est diversifié ?* ", les éleveurs enquêtés évoquent d'abord des différences phénotypiques (couleur, morphologie) (45 %, n=18), puis de tempérament (40 %, n=16), la diversité génétique (38 %, n=15), des différences de production laitière (25 %, n=10) ou de santé (10 %, n=4). Les diversités de rangs de lactation et de stades physiologiques ne sont spontanément citées que par 2 et 1 éleveurs, respectivement. Ces perceptions de types de diversité ne diffèrent pas entre les 3 classes de diversité-robustesse, excepté pour la diversité génétique (test de χ^2 , $p<0,05$) qui est citée par 88% des éleveurs de la classe

	Population	Classe 1 : Div-/R-	Classe 2 : Div+/Div _{stad} +/R+	Classe 3 : Div+/Div _{gen} +/R+
Effectif	92	44	31	17
Troupeaux en zone BB (%)	34	59	13	6
Div _{synth} 2000-2016	3,96 ± 0,47	3,62 ± 0,31 a ¹	4,07 ± 0,20 b	4,64 ± 0,29 c
Div _{gen} 2000-2016	0,22 ± 0,29	0,09 ± 0,17 a	0,13 ± 0,13 a	0,72 ± 0,22 b
Div _{stad} 2000-2016	2,10 ± 0,19	1,99 ± 0,20 a	2,23 ± 0,07 b	2,14 ± 0,11 c
Div _{rang} 2000-2016	1,64 ± 0,16	1,54 ± 0,10 a	1,71 ± 0,13 b	1,78 ± 0,14 b
R _{PLmoy} 2000-2016	2,5.10 ⁻³ ± 0,9.10 ⁻³	2,0.10 ⁻³ ± 0,5.10 ⁻³ a	2,9.10 ⁻³ ± 0,6.10 ⁻³ b	3,3.10 ⁻³ ± 1,1.10 ⁻³ b
R _{IVVmoy} 2000-2016	0,060 ± 0,029	0,046 ± 0,018 a	0,078 ± 0,035 b	0,062 ± 0,021 b
PLmoy2000-2016 (kg/vache/an)	6771 ± 1278	7461 ± 1162 a	6498 ± 991 b	5484 ± 781 c
IVVmoy2000-2016 (jours)	406 ± 20	417 ± 20 a	397 ± 17 b	397 ± 17 b
Nombre moyen de types génétiques	1,9 ± 0,8	1,5 ± 0,6 a	1,7 ± 0,5 b	3,1 ± 0,6 c
Nombre moyen de mois de vêlage	10,0 ± 1,2	9,3 ± 1,3 a	10,9 ± 0,5 b	10,3 ± 0,8 c
Rang de lactation moyen	2,7 ± 0,4	2,5 ± 0,3 a	2,9 ± 0,3 b	3,1 ± 0,5 b

Tableau 2 : Caractérisation des trois classes de diversité-robustesse (ACP2-CAH2) sur l'ensemble des variables étudiées (moyenne ± écart type). ¹ Les valeurs ayant des lettres différentes sur une même ligne diffèrent au seuil de p<0,05 (test de Kruskal-Wallis).

Div+/Div_{gen}+/R+ alors qu'elle n'est évoquée que par 19 % et 33 % des éleveurs des classes Div-/R- et Div+/Div_{stad}+/R+, respectivement.

Trente-deux pourcent (n=13) des 40 éleveurs enquêtés considèrent que la diversité génétique (différentes races ou croisements) au sein du troupeau est un levier de performance économique (" Cette diversité de race m'apporte des taux quasiment réguliers sur l'année, donc une meilleure paye de lait que si j'avais tout en Noires. " ; " Les Brunes des Alpes c'est pour maintenir les taux et donc le prix du lait, les Montbéliardes c'est une meilleure plus-value sur les réformes et les vente de veaux. "), 17 % (n=7) lui attribuent un intérêt pour la conduite des vaches (" Les Noires vous en faites ce que vous voulez, mais les Montbéliardes, quand ça veut pas, ça veut pas, c'est pour ça que je mets pas tout mon troupeau en Montbéliardes. "), 12,5 % (n=5) pour la santé du troupeau (" Les Holstein..., elles apportent du lait mais au niveau de la solidité, des pattes, elle vieillit moins bien, elle a plus de soucis que la Brune. ") et 10 % (n=4) lui associent une dimension émotionnelle (" Ces races me vont bien et puis ça fait partie du plaisir de l'éleveur d'avoir des vaches qu'il aime. "). Seul un éleveur a mis en avant l'intérêt de la diversité génétique comme levier d'adaptation aux aléas (" Une Holstein qui tombe malade, elle baisse le lait mais en 4 jours elle est revenue au sommet alors qu'une Montbéliarde ou une Abondance non, c'est pour ça c'est qu'on s'est mis à l'aimer un peu et en mettre dans notre troupeau. "). Dans un objectif d'amélioration de la performance, le choix de la diversité des races n'est pas partagé par tous les éleveurs. Certains préfèrent miser sur le croisement : " Avec les croisées, on a tout sur la même vache, c'est les meilleures du troupeau. " ; " Mes croisées, elles ont presque le lait d'une Holstein et la matière grasse de la Normande. ".

L'intérêt que les éleveurs portent à la diversité génétique ne diffère pas selon les trois classes de diversité-robustesse, excepté pour l'intérêt économique (p<0,001) qui est cité par 88 % des éleveurs de la classe Div+/Div_{gen}+/R+ alors qu'il n'est cité que par 18 % et 20 % des éleveurs des classes Div-/R- et Div+/Div_{stad}+/R+, respectivement. La diversité des stades physiologiques est perçue comme un levier d'adaptation aux contraintes structurelles de l'exploitation (disponibilité de la main d'œuvre, taille du bâtiment, volume du tank) pour 77,5 % (n=31) des éleveurs (" Le troupeau s'est agrandi. Avec un volume de lait comme on a, dire " on va tout vèler à l'automne ", j'ai du mal à imaginer. ") et comme un support de performance économique pour 65 % d'entre eux (" Du point de vue de la coopérative déjà, si on fait du lait étalé sur toute

l'année, on a une incitation financière. " ; " Si vous faites vos vêlages tous en même temps, vous avez beaucoup de veaux qui se ramènent dans le commerce. Après, les prix ça chute. " ; " On ne peut pas se permettre un mois à zéro litre de lait, on n'y arriverait pas. Tous les mois, il y a quelque chose à payer. " ; " Il faut quand même faire du lait un peu tout le temps, car si tu attends les 6 derniers mois pour faire ta référence et que tu la fais pas, le contrat il n'est pas fait. "). Elle est considérée comme un moyen de limiter les risques sanitaires sur les veaux pour 15 % (n=6) des éleveurs. Seuls deux éleveurs considèrent que la diversité des stades physiologiques peut être un levier d'adaptation aux aléas climatiques (" Au niveau du troupeau..., on essaye d'avoir tous les stades parce qu'après c'est plus régulier au niveau des taux et puis on est moins tributaire du facteur année... Parce que vous pouvez manquer votre printemps, votre été..., donc, on ne met pas nos œufs dans le même panier. "). L'intérêt que les éleveurs portent à la diversité des stades de lactation ne diffère pas selon les classes de diversité-robustesse, à l'exception de l'intérêt pour la santé des veaux qui n'est pas cité par les éleveurs de la classe Div-/R- alors qu'il est cité par 27 % et 25 % des éleveurs des classes Div+/Div_{stad}+/R+ et Div+/Div_{gen}+/R+, respectivement (p=0,07). La diversité des rangs de lactation résulte des décisions de réforme, qu'elles soient subies (" Avoir un troupeau jeune, c'est subi car il y a beaucoup de réformes involontaires "), ou pilotées (" Comme il y a des génisses derrière, je ne garde pas. "). Seuls 25 % des éleveurs voient un intérêt à faire vieillir les vaches car cela permet de diminuer le coût du renouvellement et dans une moindre mesure, d'avoir un troupeau plus calme et plus facile à conduire.

3. DISCUSSION

Dans cette étude, la diversité intra-troupeau a été qualifiée au travers d'index qui rendent compte de la composition (types génétiques) et de la structure du troupeau (stades et rangs de lactation). Ces index permettent d'apprécier indirectement la diversité fonctionnelle présente dans le troupeau (Magne *et al.*, 2019) dans la mesure où le fonctionnement biologique des vaches et notamment la façon dont elles priorisent leurs fonctions de vie en situation de contrainte (Friggens *et al.*, 2017) diffère selon les races et le statut physiologique des animaux (Blanc *et al.*, 2013). Cette diversité fonctionnelle, plus que la diversité génétique *sensu stricto*, est celle qui détermine l'aptitude des systèmes à répondre aux perturbations et à être résilients (Mori *et al.*, 2013). Parmi les troupeaux étudiés, les profils de diversité sont assez contrastés. Quarante-sept

pourcent sont peu diversifiés et majoritairement localisés en zone de plaine (Div-/R-), tandis que les autres (Div+/Div_{stad}+/R+ et Div+/Div_{gen}+/R+) se situent majoritairement en zone de montagne et se caractérisent par une plus forte hétérogénéité de stades physiologiques et de rangs de lactation, à laquelle peut s'ajouter une forte diversité génétique. Lorsqu'elle est présente de manière significative, cette diversité génétique se caractérise par un nombre moyen de races par troupeau important ($3,1 \pm 0,6$ pour la classe Div+/Div_{gen}+/R+, tableau 2). Pourtant elle ne permet pas d'améliorer la robustesse de la production laitière et des IVV, ce qui est assez inattendu dans la mesure où de précédents travaux ont montré que la capacité des vaches à faire face à des environnements contraignants diffèrent selon les races (Dillon *et al.*, 2003). Pour ce qui concerne la production laitière, c'est l'asynchronie des états physiologiques au sein du troupeau qui joue le rôle d'effet tampon et confère de la robustesse au troupeau. Ce résultat va dans le sens de l'hypothèse énoncée par Blanc *et al.* (2013) selon laquelle l'hétérogénéité des stades au sein d'un troupeau permet de diluer et donc d'amortir les effets de la perturbation. Un tel effet de dilution a également été montré par Benoit *et al.* (2020) sur les systèmes ovins allaitants : les troupeaux avec plusieurs périodes d'agnelage par an sont plus robustes que ceux n'ayant qu'une seule période d'agnelage vis-à-vis de perturbations affectant la productivité des brebis. Nos résultats montrent que la robustesse des IVV est positivement corrélée à la diversité des rangs de lactation, ce qui signifie que les IVV sont plus stables dans les troupeaux où le rang moyen de lactation, et donc la longévité productive des vaches, est élevé. Ces troupeaux (Div+/Div_{stad}+/R+ et Div+/Div_{gen}+/R+) sont aussi ceux pour lesquels les IVV sont les plus courts. Dans ces troupeaux, les vaches semblent donc avoir de meilleures performances de reproduction que dans la classe Div-/R-, ce qui explique en partie leur longévité supérieure (rang moyen de lactation supérieur à 2,9, tableau 2). Ainsi, la robustesse des IVV est plus importante dans les troupeaux présentant de meilleures performances de reproduction (corrélation entre $R_{IVV moy 2000-2016}$ et IVV_{moy} , $r = -0,57$, $p < 0,001$). L'effet positif de la diversité des rangs de lactation sur la robustesse des IVV serait la conséquence indirecte de meilleures performances de reproduction. Nos résultats révèlent un trade-off entre la robustesse de la production laitière et la quantité de lait produite mais montrent que ce trade-off peut être atténué par une plus grande diversité des stades physiologiques au sein du troupeau. Par cette composante de la diversité, le niveau troupeau apparaît comme pouvant contribuer au pouvoir tampon du système et être complémentaire des autres leviers de robustesse présents dans les systèmes d'élevage : capacités adaptatives des animaux, combinaison de plusieurs espèces, interactions entre les éléments du système, pilotage adaptatif de l'éleveur (Blanc *et al.*, 2006 ; Nozières *et al.*, 2011 ; Dumont *et al.*, 2020, Mugnier *et al.*, 2021). Excepté la diversité génétique, les critères que nous avons utilisés pour définir la diversité intra-troupeau diffèrent de ceux que citent spontanément les éleveurs et qui renvoient plus à de la diversité phénotypique (physionomie, comportement, performances) que structurelle. Contrairement à ce que rapportent Magne *et al.* (2019), la diversité des races n'a pas été perçue comme un levier d'adaptation aux aléas. Le principal bénéfice que les éleveurs associent à cette diversité est l'amélioration des performances économiques du troupeau grâce à la complémentarité des types génétiques qui permet une meilleure valorisation des produits animaux. Ce résultat a également été rapporté par Magne *et al.* (2019). Parmi les trois composantes de la diversité que nous avons abordées avec les éleveurs, la diversité des stades physiologiques est clairement celle qui présente le plus d'intérêt adaptatif : ajustement aux contraintes structurelles présentes sur l'exploitation, moindre sensibilité à la variabilité des prix de vente des produits animaux, étalement de la trésorerie, effet tampon en cas d'aléa. En plus d'être un levier de robustesse, la diversité des stades physiologiques est

identifiée par les éleveurs comme un levier d'adaptation aux limites des facteurs de production, mais induit en contrepartie, une charge de travail importante toute l'année : "il faut toujours tout faire et c'est plus fatigant".

CONCLUSION

Notre étude a permis de mettre en évidence le rôle de la diversité intra-troupeau et plus particulièrement de l'asynchronie des stades physiologiques sur la capacité du troupeau à maintenir des performances stables sur le long terme. Elle a également révélé une moindre stabilité de la production laitière dans les troupeaux les plus productifs. Pour les éleveurs, la diversité intra-troupeau est avant tout un levier de performance économique et d'adaptation aux contraintes structurelles de l'exploitation. Ces résultats montrent que les adaptations stratégiques qui génèrent de la diversité intra-troupeau (sélection et croisements pour la diversité génétique, règles de renouvellement-réforme pour la diversité des rangs, conduite de la reproduction pour la diversité des stades) sont à prendre en compte dans les réflexions sur l'amélioration de la résilience des systèmes d'élevage, en complément des adaptations tactiques que les éleveurs mobilisent en cas d'aléas (achat d'aliments, ventes d'animaux, modifications des horaires de pâturage...). Des recherches permettant de mieux apprécier la contribution respective des adaptations stratégiques vs tactiques à la robustesse des troupeaux mériteraient d'être développées.

Les auteurs remercient G. Combelles - Contrôle laitier 15, J.P. Garnier Chambre Agriculture 03, pour leur appui dans la sélection des élevages et les 40 éleveurs pour le temps consacré aux entretiens conduits par E. Steiner et S. Chamarié, stagiaires ISARA. Cette étude a bénéficié des financements INRAE et de la région Auvergne (Programme PSDR Auvergne 2015-2019 NewDeal).

- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., Lana, M., 2015. Agron. Sustain. Dev. 35, 869–890.
- Benoit, M., Joly, F., Blanc, F., Dumont, B., Sabatier, R., Mosnier, C., 2020. Agron. Sustain. Dev. 40, 34.
- Biggs, R., Schlüter, M., Biggs, D., Bohensky, E.L., BurnSilver, S., Cundill, G., Dakos, V., Daw, T.M., Evans, L.S., Kotschy, K., Leitch, A.M., Meek, C., Quinlan, A., Raudsepp-Hearne, C., Robards, M.D., Schoon, M.L., Schultz, L., West, P.C., 2012. Rev. Environ. Resour., 37, 421–448.
- Blanc, F., Bocquier, F., Agabriel, J., D'Hour, P., Chilliard, Y., 2006. Animal Research, 55, 489–510.
- Blanc, F., Ollion, E., Puillet, L., Delaby, L., Ingrand, S., Tichit, M., Friggens, N.C., 2013. Renc. Rech. Rumin. 20, 265–272.
- Darnhofer, I. 2014. European Review of Agricultural Economics, 41 (3), 461–48.
- Dillon, P., Snijders, S., Buckley, F., Harris, B., O'Connor, P., Mee, J.F., 2003. Livestock Production Science 83, 21–33.
- Dumont, B., Fortun-Lamothe, L., Jouven, M., Thomas, M., Tichit, M., 2013. Animal, 7, 1028–1043.
- Dumont, B., Puillet, L., Martin, G., Savietto, D., Aubin, J., Ingrand, S., Niderkorn, V., Steinmetz, L., Thomas, M. 2020. Front. Sustain. Food Syst. 4, 109.
- Friggens, N.C., Blanc, F., Berry, D.P., Puillet, L., 2017. Animal, 11, 2237–2251.
- Magne, M.C., Nozières-Petit, M.O., Cournot, S., Ollion, E., Puillet L., Renaudeau, D., Fortun-Lamothe, L., 2019. INRA Prod. Anim. 32(2), 263–280.
- Mori, A.S., Furukawa, T., Sasaki, T., 2013. Biol. Rev., 88, 349–364.
- Mugnier, S., Husson, C., Cournot, S., 2021. Renewable Agriculture and Food Systems 36, 344–352.
- Nozières, M.O., Moulin, C. H., Dedieu, B., 2011. Animal, 5:9, 1442–1457.
- Sneessens, I., Sauvé, L., Randrianasolo-Rakotobe, H., Ingrand, S. 2019. Agric. Syst. 176, 102658.
- Urruty, N., Tailliez-Lefebvre, D., Huyghe, C., 2016. Agron. Sustain. Dev., 36, 15.