

Panorama des impacts environnementaux et contributions positives des exploitations de polycultures-élevages

VIAL R. (1), STOCCHETTI A. (2), BROCCAS C. (3)

(1) Institut de l'élevage, 9 rue de la Vologne, 54520 Laxou

(2) Institut de l'élevage, 149 rue de Bercy, 75595 Paris Cedex 12

(3) Institut de l'élevage, Monvoisin, 35652 Le Rheu

RESUME

Depuis 10 ans ce sont plus de 21 000 audits CAP'2ER® niveau 2 qui ont été réalisés avec les éleveurs dans le cadre des programmes bas-carbone. Les informations récoltées dans ces exploitations de polyculture-élevage permettent d'analyser et dresser un panorama de l'impact environnemental et des services rendus. Cette étude a vocation à identifier les élevages qui affichent aujourd'hui une multi performance environnementale à l'échelle de l'exploitation. La classification des exploitations à partir de leurs résultats environnementaux a permis d'identifier trois grands profils d'exploitations. Les caractéristiques du 1^{er} profil correspondent aux systèmes herbagers extensifs. Le 2nd profil correspond à des exploitations de polyculture-élevage avec une part importante de culture de vente dans la surface. Le 3^{ème} profil correspond aux systèmes spécialisés en élevage avec une forte production à la surface. Aucun de ces profils est le plus performants sur l'ensemble des indicateurs environnementaux, cependant, des profils sont performants sur une majorité d'indicateurs. Le croisement de ces profils d'exploitations avec les résultats environnementaux à l'échelle de l'atelier met en avant une faible variabilité inter-système des émissions de GES par L de lait corrigé et une forte variabilité intra-système. Cela confirme que des marges de progrès techniques existent au sein de chaque système.

Overview of the environmental impacts and positive contributions of mixed crop-livestock farms

VIAL R. (1), STOCCHETTI A. (2), BROCCAS C. (3)

(1) Institut de l'élevage, 9 rue de la Vologne, 54520 Laxou

SUMMARY

Over the past 10 years, more than 21,000 CAP'2ER® Level 2 audits have been carried out with farmers as part of low-carbon programs. The information gathered from these mixed crop-livestock farms enables us to analyse and draw up an overview of their environmental impact and the services they provide. The aim of this study is to identify the farms that are currently achieving multi-environmental performance at farm level. By classifying farms based on their environmental performance, we have identified three main farm profiles. The characteristics of the 1st profile correspond to extensive grazing systems. The 2nd profile corresponds to mixed crop-livestock farms with a high proportion of sales crops in the area. The 3rd profile corresponds to specialized livestock farming systems with high production per unit area. None of these profiles performs best on all environmental indicators, although some do perform well on most indicators. Cross-referencing these farm profiles with the environmental results at farm level reveals low inter-system variability in GHG emissions per L of corrected milk, and high intra-system variability. This confirms that there is room for technical progress within each system.

INTRODUCTION

Pour répondre aux objectifs de décarbonation, les filières de ruminants se sont dotées d'un outil d'évaluation environnementale, CAP'2ER® niveau 2. Cet outil permet de réaliser une évaluation environnementale multicritères et de construire des plans d'actions pour réduire les impacts environnementaux de l'élevage. Les résultats produits par l'outil permettent une analyse à l'échelle des ateliers mais aussi à l'échelle de l'exploitation pour conduire une analyse globale. CAP'2ER® respecte les principes de l'analyse du cycle de vie et est conforme aux normes internationales (FAO 2016 ; FIL 2010 ; IPCC 2006).

Depuis 10 ans ce sont plus de 21 000 audits CAP'2ER® niveau 2 qui ont été réalisés avec les éleveurs dans le cadre des programmes bas-carbone (Ferme Laitière Bas Carbone, Beef Carbon, Life Green Sheep, Elevage Caprin Durable, programmes régionaux, etc.). Les informations récoltées dans ces exploitations permettent d'analyser et dresser un panorama du bilan carbone des exploitations de polyculture-

élevage mais aussi des autres impacts environnementaux (qualité de l'air, qualité de l'eau, consommation d'énergie) et des services rendus (stockage carbone, biodiversité, potentiel nourricier). Les programmes bas-carbone ont pour principale vocation d'analyser l'empreinte carbone des produits lait et viande de ces exploitations. Les objectifs poursuivis par cette étude vont au-delà. Elle a vocation à identifier les élevages qui affichent aujourd'hui une multi-performance environnementale à l'échelle de l'exploitation. Il s'agit de dresser le profil des exploitations en fonction des résultats environnementaux : biodiversité, stockage carbone, performance nourricière, émissions de gaz à effet de serre, consommation d'énergie et bilan azote et d'identifier les variables permettant de les différencier.

Caractériser les exploitations multi-performantes vis-à-vis de leur impact environnemental permet de proposer aux acteurs de conseil agricole des outils afin d'accompagner les éleveurs dans la construction d'un plan d'action raisonné sur le global de l'exploitation et ainsi favoriser les synergies entre les ateliers.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. BASES DE DONNEES UTILISEES

Les données concernées par cette étude sont extraites de l'outil CAP'2ER® en avril 2024 et représentent 13 014 diagnostics de niveau 2 réalisés entre 2013 et 2023 sur 10 254 élevages bovin laitier répartis sur toute la France. Les diagnostics d'une même exploitation sont considérés comme indépendants (année comptable différente, évolution de la collecte des données) : la corrélation moyenne entre les différents diagnostics d'une même exploitation est de 0,04. L'étude se situant à l'échelle de l'exploitation, l'unité fonctionnelle est l'hectare de Surface Agricole Utile (SAU) et le groupe de variables à expliquer est le suivant :

- Biodiversité entretenue par l'exploitation (eq. ha de biodiversité/ha SAU)
- Consommation d'énergie de l'exploitation (MJ/ha SAU)
- Emissions brutes de gaz à effet de serre (GES) de l'exploitation (kg eq. CO₂/ha SAU)
- Nombre de personne nourries par l'exploitation (pers./ha SAU)
- Stockage de carbone de l'exploitation (kg eq. CO₂/ha SAU)
- Excédent du bilan azote de l'exploitation (kg N/ha SAU)

Les méthodologies utilisées pour calculer ces différents indicateurs sont expliquées dans le guide méthodologique de l'outil CAP'2ER® (IDELE, 2022).

1.2. CREATION ET CARACTERISATION DES PROFILS DE DIAGNOSTICS A L'ECHELLE DE L'EXPLOITATION

Pour établir les différents profils à l'échelle de l'exploitation, une classification hiérarchique est combinée à une analyse factorielle (Husson *et al.* 2010). Toutes les méthodes présentées sont appliquées à l'aide du logiciel R et des fonctions contenues dans le package FactoMineR (Lê *et al.* 2008).

L'analyse factorielle mise en œuvre est l'ACP (Analyse en Composantes Principales) sur l'ensemble des six variables à expliquer afin de résumer l'information avant de passer à une classification et de visualiser les relations entre les variables ou identifier les proximités entre les diagnostics en un nombre restreint de dimensions (Husson *et al.*, 2014 ; Josse *et al.*, 2010).

La classification qui découle du résultat de l'ACP est la méthode HCPC (Classification Hiérarchique sur Composantes Principales). C'est une méthode non supervisée caractérisée par une classification mixte à la suite d'une analyse factorielle. La classification mixte est la combinaison de la CAH (Classification Ascendante Hiérarchique) et d'une consolidation par partitionnement avec l'algorithme des K-Means. L'objectif est de répartir les diagnostics en un nombre optimal de groupes, en prenant en compte la perte d'inertie pour chaque nouveau groupe généré via le critère d'agrégation de Ward (Husson *et al.*, 2023). Le paramètre de perte d'inertie indique la quantité d'information perdue lors de l'association de groupes. Plus la perte d'inertie est faible, plus les profils créés sont condensés et bien séparés entre eux. Ainsi, les diagnostics au sein d'un même profil sont plus homogènes et la différence entre les diagnostics de différents profils est plus importante. Concernant le nombre optimal de profils, la proposition de la méthode HCPC est validée par la méthode Gap Statistic (Tibshirani *et al.*, 2001). Cette dernière compare la dispersion des données à l'intérieur des groupes à une distribution nulle de référence, que l'on pourrait attendre d'une distribution uniforme aléatoire. En se basant sur les résultats

de ces méthodes, trois profils à l'échelle de l'exploitation sont identifiés.

Dans le but d'identifier les variables permettant de discriminer les profils obtenus, un lot de variables dites explicatives est à disposition. Ces variables correspondent aux informations récoltées (mesurées ou calculées) lors des évaluations environnementales comme la composition du troupeau (race, nombre d'animaux par catégorie, etc.), le temps passé en bâtiment ou au pâturage par catégorie d'animaux, le type d'effluent, la surface de prairies permanentes et/ou temporaires, les types d'ateliers présents sur l'exploitation, les surfaces de cultures, les sources de consommation énergétique, etc. Seules les variables associées à une information technique sont conservées.

L'interprétation et la caractérisation des trois profils sont basées sur les valeurs de v-test, qui indiquent si la réponse à une variable donnée est sur- (v-test positif) ou sous-représentée (valeurs négatives) dans les profils (Husson *et al.*, 2010). Le v-test n'est qu'une transformation de la p-valeur en un quantile de la loi normale, seul son signe est intéressant dans l'interprétation des résultats. Ainsi, les variables qui discriminent le plus les trois profils sont celles qui sont le plus significatives au seuil 5% et donc qui ont une valeur absolue du v-test très grande.

1.3. CREATION ET CARACTERISATION DES PROFILS DE DIAGNOSTICS A L'ECHELLE DE L'ATELIER

Afin d'étudier le lien entre les profils à l'échelle de l'exploitation et les résultats environnementaux à l'échelle de l'atelier, la même méthodologie, à savoir analyse factorielle suivie d'une classification, est utilisée à partir du groupe de variable à expliquer suivant :

- Biodiversité entretenue par l'atelier (eq. ha de biodiversité/ha SAU de l'atelier lait)
- Consommation d'énergie de l'atelier (MJ/L de lait corrigé)
- Emissions brutes de gaz à effet de serre (GES) du produit lait (kg eq. CO₂/L de lait corrigé)
- Nombre de personnes nourries par l'atelier (pers./ha SAU de l'atelier lait)
- Stockage du carbone du produit lait (kg eq. CO₂/L de lait corrigé)
- Stockage du carbone par hectare de l'atelier (kg eq. CO₂/ha SAU de l'atelier lait)
- Excédent du bilan azote de l'exploitation (kg N/ha SAU)

Comme précédemment, trois profils à l'échelle de l'atelier sont identifiés.

2. RESULTATS

2.1. ECHELLE EXPLOITATION

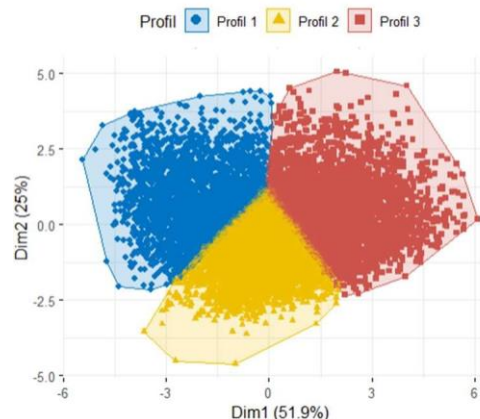


Figure 1 Résultats de la classification à l'échelle de l'exploitation sur les deux premières dimensions de l'ACP

Tableau 1 Résultats environnementaux (variables actives) des trois profils à l'échelle de l'exploitation

	Population totale	Profil 1	Profil 2	Profil 3
Stockage de Carbone (kg eq. CO2/ha SAU)	821	1 398	481	802
Biodiversité (eq. ha de biodiversité/ha SAU)	1,31	1,83	0,98	1,33
Excédent bilan azote (kg N/ha SAU)	101	72	95	131
Emissions brutes GES (kg eq. CO2/ha SAU)	7 798	5 887	7 059	10 241
Consommation d'énergie (MJ/ha SAU)	24 438	15 878	23 383	32 494
Nombre de personne nourries (pers./ha SAU)	22	16	20	29

L'analyse des résultats environnementaux à l'échelle de l'exploitation aboutit à une classification en 3 profils.

Le profil 1 représente 26% de la population et est caractérisé par des impacts environnementaux par hectare de SAU plus faibles que ceux de la population totale (Emissions de GES, Consommation d'énergie, Excédent du bilan azote) et des contributions positives plus importantes (Stockage de carbone, Biodiversité) mis à part pour le nombre de personnes nourries.

Le profil 2 représente 42% de la population et est caractérisé par des impacts environnementaux et un nombre de personnes nourries proches de la moyenne avec cependant

un stockage de carbone et un indicateur de biodiversité plus faible.

Le profil 3 représente 32% de la population et est caractérisé par des impacts environnementaux et un nombre de personnes nourries plus importants et un stockage de carbone, un indicateur de biodiversité proches de la moyenne de la population totale (cf. Tableau 1).

Aucun des profils identifiés n'est le plus performant sur l'ensemble des indicateurs. Cependant, cette analyse montre que des profils de diagnostics d'exploitation sont plus performants que la population générale sur une majorité d'indicateurs environnementaux.

Tableau 2 Résultats des variables quantitatives supplémentaires pour les 3 profils à l'échelle de l'exploitation

	Variables quantitatives	v-test	Moyenne du profil	Moyenne générale	p.value
Profil 1	Part d'herbe (% SFP)	67	83,3	66,1	0
	Lait corrigé / ha SAU (L/ha SAU)	- 66	5 607	8 737	0
	Chargement apparent (UGB/ ha SFP Lait)	- 57	1,23	1,64	0
Profil 2	Part des cultures de vente (% SAU)	53	34,3	23,7	0
	Part des prairies permanentes (% SAU)	- 30	17,3	24,5	1,13E-199
Profil 3	Part cultures fourragères (% SFP)	56	31,3	23,1	0
	Lait corrigé / ha SAU (L/ha SAU)	54	10 883	8 737	0
	Chargement apparent (UGB/ ha SFP Lait)	49	1,94	1,64	0

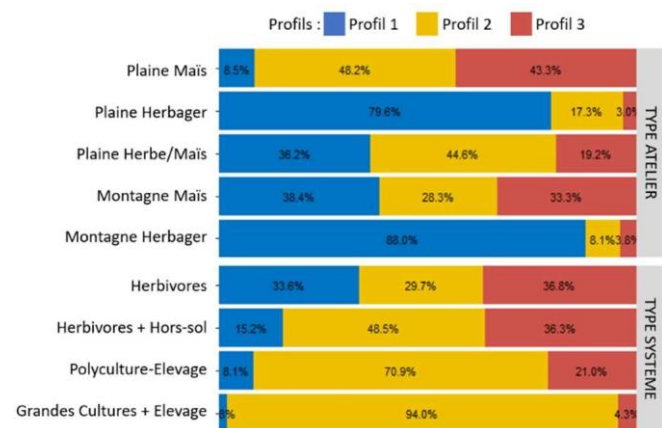


Figure 2 Résultats des variables qualitatives supplémentaires pour les 3 profils de diagnostics d'exploitation (répartition des types d'ateliers et systèmes selon les 3 profils)

Les résultats environnementaux de ces trois profils sont très liés aux caractéristiques techniques des exploitations diagnostiquées. Des différences significatives entre la moyenne générale et celle des profils sont observées sur plusieurs variables illustratives.

Il apparaît notamment que le profil 1 a une part moyenne d'herbe dans la Surface Fourragère Principale (SFP) plus importante, une production laitière par hectare, un chargement et une proportion de culture dans la SAU plus faibles.

Le profil 2 a une proportion plus importante des cultures de vente dans la SAU et à l'inverse moins de prairie permanente. Le profil 3 a une production laitière par hectare et un chargement plus élevés, une part de maïs dans la SFP plus importante (cf. Tableau 2).

En cohérence avec les résultats des variables quantitatives, les ateliers herbagers sont plus fortement représentés dans le profil de diagnostics d'exploitation 1. Les systèmes de polyculture-élevage et grandes cultures et élevage sont plus représentés dans le profil 2. Quant au profil 3, il est davantage composé d'élevages spécialisés et les ateliers herbagers y sont peu représentés (cf. Figure 2).

Ainsi, il existe une correspondance entre la classification statistique obtenue et les typologies d'exploitations fréquemment utilisées (IDELE, 2024) : le profil 1 correspondant aux exploitations herbagères extensives à la surface, plus fortement représenté dans les zones de montagne. Le profil 2 correspond aux exploitations en polycultures élevage, avec un atelier culture de vente important. Le profil 3 correspond aux élevages spécialisés, intensifs à la surface.

2.2. ECHELLE ATELIER

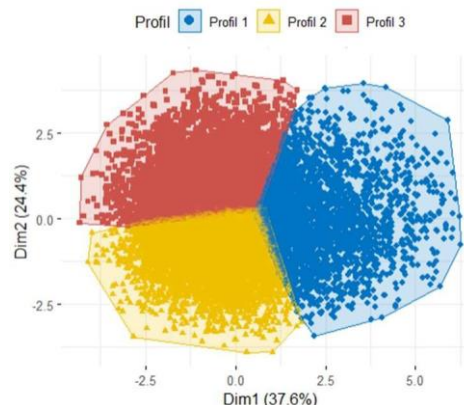


Figure 3 Résultat de la classification à l'échelle de l'atelier sur les deux premières dimensions de l'ACP

Tableau 3 Résultats environnementaux (variables actives) des trois profils à l'échelle de l'atelier laitier

	Population totale	Profil 1	Profil 2	Profil 3
Stockage de Carbone (kg eq. CO2/ha SAU Lait)	1 116	1 639	996	917
Stockage de Carbone ((kg eq. CO2/L de lait corrigé)	0,13	0,27	0,09	0,09
Biodiversité (eq. ha de biodiversité/ha SAU Lait)	1,58	2,04	1,46	1,43
Excédent bilan azote (kg N/ha SAU)	101	76	93	128
Emissions brutes GES (kg eq. CO2/L de lait corrigé)	1,00	1,05	0,92	1,07
Consommation d'énergie (MJ/ L de lait corrigé)	2,96	2,85	2,59	3,51
Nombre de personne nourries (pers./ha SAU Lait)	33	20	37	36

L'analyse des résultats environnementaux des diagnostics à l'échelle de l'atelier bovin lait aboutit, comme à l'échelle de l'exploitation, à une classification en 3 profils.

Le profil 1 représente 23% de la population et est caractérisé par de meilleures contributions positives à travers un indicateur biodiversité plus élevé que la moyenne et un stockage de carbone plus important (par hectare de SAU mobilisée par l'atelier ou par litre de lait corrigé). Le nombre de personnes nourries est quant à lui plus faible que pour les autres profils.

Les profils 2 et 3 représentent respectivement 44% et 33% de la population, ils sont très proches au niveau des contributions positives (Stockage de carbone, Biodiversité, Nombre de personnes nourries). Ils se distinguent fortement sur leurs impacts, avec de meilleurs résultats pour le profil 2. En effet, pour ce profil de diagnostics d'atelier, l'excédent du bilan azote par hectare, les émissions brutes de gaz à effet de serre et la consommation d'énergie par litre de lait sont plus faibles que le profil 3 ou que la population total (cf. Tableau 3).

Tableau 4 Résultats des variables quantitatives supplémentaires pour les 3 profils à l'échelle de l'atelier

	Variables quantitatives	v-test	Moyenne du profil	Moyenne générale	p.value
Profil 1	Part d'herbe (% SFP)	64	83,9	66,1	0
	Lait corrigé / ha SAU (L/ha SAU)	- 66	5 344	8 737	0
	Chargement apparent (UGB/ ha SFP Lait)	- 55	1,21	1,64	0
Profil 2	Part d'herbe (% SFP)	-31	60,8	66,1	2,88E-210
	Lait corrigé / ha SAU (L/ha SAU)	31	9722	8 737	2,40E-211
	Chargement apparent (UGB/ ha SFP Lait)	21	1,74	1,64	7,44E-99
Profil 3	Part d'herbe (% SFP)	-24	61,0	66,1	3,01E-131
	Lait corrigé / ha SAU (L/ha SAU)	26	9 752	8 737	5,29E-148
	Chargement apparent (UGB/ ha SFP Lait)	26	1,80	1,64	6,35E-154
	Azote minéral épandu (kg N/ha SAU Lait)	52	76	54	0
	Autonomie protéique (%)	-47	59	66	0
	Concentré / UGB (kg/UGB)	39	1421	1190	0

Concernant les caractéristiques techniques, le profil 1 a une part d'herbe dans la SFP plus importante, une production laitière par hectare et un chargement plus faible. Les profils 2 et 3 sont proches sur les variables caractérisants les types de systèmes (part d'herbe dans la SFP, production laitière par hectare et chargement apparent). Le profil de diagnostics d'atelier 3 se différencie par des consommations d'engrais minéral par hectare plus importantes, une autonomie protéique plus faible et des consommations de concentrés par (Unité Gros Bétail) UGB plus élevées. Ce profil est globalement plus consommateur d'intrants que la population totale (cf. Tableau 4).

L'analyse des variables qualitatives supplémentaires met en avant une plus forte représentation des ateliers herbagers dans le profil de diagnostics d'atelier 1. Au contraire, les ateliers dont l'alimentation est davantage basée sur le maïs sont plus représentés dans les profils 2 et 3. La dichotomie entre les élevages spécialisés et les systèmes avec des grandes cultures n'est pas observée à l'échelle des ateliers. Les différents types de systèmes sont bien représentés dans les profils d'ateliers 2 et 3. (cf. Figure 4).

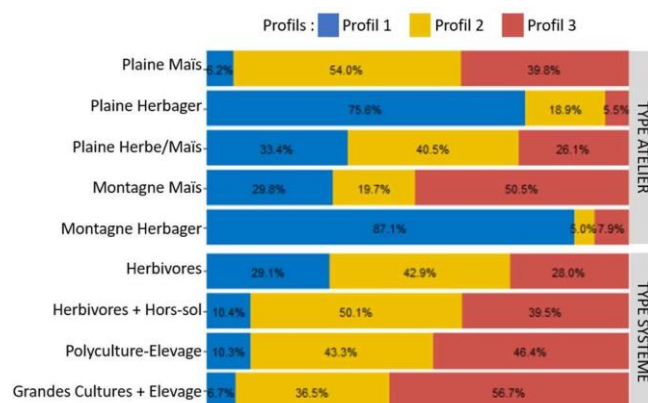


Figure 4 : Résultats des variables qualitatives supplémentaires pour les 3 profils de diagnostics d'atelier (répartition des types d'ateliers et systèmes selon les 3 profils)

2.3. CROISEMENT DES PROFILS D'EXPLOITATIONS ET D'ATELIERS

Tableau 5 Répartition des profils d'exploitations dans les profils d'ateliers

Exploitation	Atelier			Total
	Profil 1	Profil 2	Profil 3	
Profil 1	73,6%	22,3%	4,1%	100%
Profil 2	6,1%	57%	36,9%	100%
Profil 3	4%	43,2%	52,8%	100%

Le profil d'exploitations 1 (herbager, extensif) est principalement représenté dans le profil d'ateliers 1 (73,6%). Les caractéristiques techniques de ces deux profils sont proches, production laitière et chargement plus faibles que la moyenne et part d'herbe dans la SFP plus importante.

Le profil d'exploitations 2 (polyculture-élevage) est réparti principalement dans les profils d'ateliers 2 (57%) et 3 (36,9%). Le profil d'exploitations 3 (spécialisé intensif) est réparti principalement dans les profils d'ateliers 2 (43,2%) et 3 (52,8%) (cf. Tableau 5).

3. DISCUSSION

Les résultats obtenus dans cet article sont cohérents avec d'autres valorisations de la base de données de l'outil CAP'2ER® (Andurand *et al.*, 2020 ; IDELE, 2023). Les systèmes d'élevage herbagers et extensifs ont des indicateurs de stockage carbone et de biodiversité plus élevés que les autres systèmes. En lien avec leur chargement plus faible, leur impact environnemental ramené à la surface est moindre. Cependant, leur production à l'hectare permet de nourrir moins de personne.

Au niveau des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle des produits, on observe peu d'écart entre les trois profils d'exploitation. Avec respectivement 1,02 kg eq. CO₂ / L de lait corrigé pour le profil 1, 0,99 pour le profil 2 et 1,00 pour le profil 3. Cela confirme les constats fait dans les précédentes valorisations, à savoir une faible variabilité des émissions brutes inter-systèmes. Dans la publication d'Andurand *et al.* les émissions brutes étaient de 0,98 kg eq. CO₂ / L de lait corrigé pour le système « Plaine <10% maïs » et de 0,97 pour le système « Plaine > 30% maïs ». Une plus grande variabilité concernant les consommations d'énergie par litre de lait est observée. Le profil 1 a une valeur significativement plus faible que les deux autres (Profil 1 : 2,70 MJ / L de lait corrigé ; Profil 2 : 3,01 ; Profil 3 : 3,09).

Les précédentes valorisations étaient plutôt centrées sur l'impact environnemental des produits (lait et viande) notamment à travers leur empreinte carbone. Les résultats environnementaux à l'échelle de l'exploitation étaient moins traités. A cette échelle, la proportion de culture de vente dans la SAU est un critère discriminant. Les systèmes en polycultures élevage et spécialisés en élevage ont été différenciés à partir de leurs résultats environnementaux. Les résultats montrent une certaine dilution des impacts et des contributions positives de l'élevage sur les surfaces en cultures pour les systèmes en polycultures élevage.

Le croisement des profils d'ateliers et d'exploitations a mis en avant une légère prépondérance du profil d'exploitations polyculture élevage dans le profil d'ateliers avec un fonctionnement optimisé. Pour aller plus loin, il serait intéressant de caractériser ce sous-groupe d'exploitations (Profil exploitation 2 et Profil atelier 2). En effet, cela permettrait de mettre en avant les variables expliquant les meilleurs résultats environnementaux de ce groupe et d'étudier le lien de ces variables explicatives avec la caractéristique de la polyculture élevage. Certaines variables étant plus spécifiques à ce type de systèmes (Céréales autoconsommées, azote organique sur les cultures...) elles pourraient être en lien avec les résultats environnementaux.

CONCLUSION

La classification des exploitations à partir de leurs résultats environnementaux à l'échelle de l'exploitation a permis d'identifier trois grands profils d'exploitations. Aucun de ces profils est le plus performants sur l'ensemble des indicateurs environnementaux. A l'échelle de l'exploitation, la proportion de culture dans la surface totale est un critère discriminant et

différencie les exploitations en polyculture élevage des exploitations spécialisées. Il semblait intéressant d'étudier le croisement de ces résultats à l'échelle de l'exploitation avec ceux à l'échelle de l'atelier et au kilogramme de produit. A l'échelle de l'atelier l'optimisation de l'utilisation des intrants est un critère discriminant. Les profils d'ateliers « optimisés » sont présents chez les profils d'exploitations en polyculture élevage et spécialisées avec une légère prépondérance chez les polyculteurs éleveurs. Les raisons de cette prépondérance restent à investiguer. Ces résultats soulignent la variabilité importante des impacts environnementaux au sein d'un même système et donc les marges de progrès techniques.

Nous remercions l'ensemble des partenaires de la Ferme Laitière Bas Carbone et du programme Life Beef Carbon qui ont participé à la réalisation des diagnostics CAP'2ER : Cniel, Interbev, la Coopération Agricole, France Conseil Elevage et les Chambres d'Agriculture.

Andurand, J., Goumand, E., Labarre J., et al. 2020. Rencontres Recherches Ruminants, 2020, 25, 93-100

FAO, 2016. Environmental performance of large ruminant supply chains: Guidelines for assessment. Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. FAO, Rome, Italy.

FIL, 2010. Bulletin de la Fédération Internationale du Lait (445), p47

Husson, F., Lê, S. et Pages, J. 2010. Exploratory Multivariate Analysis by Example Using R, Chapman and Hall, 1-193

Husson, F. et Josse, J. 2014. Multiple correspondence analysis. Visualization and verbalization of data. 10-22.

Husson, F., Le Ray, G. et Molto, Q. 2023. HCPC: Hierarchical Clustering on Principle Components (HCPC) in FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining

IDELE, 2024. Dernière consultation

27/06/2024. <https://portail.inosys-reseaux-elevage.fr/FR/>

IDELE, 2023. Dernière consultation 27/06/2024.

<https://idele.fr/detail-article/fiches-references-systemes-cap2err-edition-2023>

IDELE, 2022. Guide simplifié de la méthodologie d'évaluation environnementale d'une exploitation agricole.

IPCC, 2006. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual, vol. 4.

Josse, J., Husson, F. et Pagès, J. 2020. Principal component methods—hierarchical clustering. partitional clustering. Why would we need to choose for visualizing data.

Lê, S., Josse, J., et Husson, F. 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1–18

Tibshirani, R., Walther, G. et Hastie, T. 2001. Estimating the number of clusters in a data set via the gap statistic