



**HAL**  
open science

# Évaluation multicritère des fermes laitières selon la qualité du lait destiné à la fabrication de fromage estimée par spectroscopie en moyen infra-rouge et les impacts environnementaux estimés par CAP'2ER®

Mathieu Lepoivre, Bruno Martin, Paul-Marie Grollemund, Claire Laurent, Raphaëlle Botreau, Françoise Monsallier, Sophie Hulin, Pauline Gerber, Christophe Chassard, Mauro Coppa

## ► To cite this version:

Mathieu Lepoivre, Bruno Martin, Paul-Marie Grollemund, Claire Laurent, Raphaëlle Botreau, et al.. Évaluation multicritère des fermes laitières selon la qualité du lait destiné à la fabrication de fromage estimée par spectroscopie en moyen infra-rouge et les impacts environnementaux estimés par CAP'2ER®. 3R2022: 26èmes Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants., Institut de l'élevage [IDELE] INRAE, Dec 2022, Paris, France. hal-04734602

**HAL Id: hal-04734602**

**<https://hal.science/hal-04734602v1>**

Submitted on 14 Oct 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Une méthode opérationnelle d'évaluation multicritère des élevages laitiers par l'utilisation de la spectroscopie du lait et de l'outil d'évaluation CAP'2ER®

LEPOIVRE M. (1), MARTIN B. (2), GROLLEMUND P.-M. (3), LAURENT C. (2), BOTREAU R. (2), MONSALLIER F. (4), HULIN S. (5), GERBER P. (5), CHASSARD C. (1), COPPA M. (6)

(1) Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Fromages, F-15000 Aurillac

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

(3) Université Clermont Auvergne, CNRS, LMBP, F-15000 Aurillac

(4) Chambre d'Agriculture du Cantal, F-15000 Aurillac

(5) Pôle Fromager AOP Massif Central, F-15000 Aurillac

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

## RESUME

La présente étude propose une adaptation des méthodologies de Botreau et al. (2018) et Rey-Cadilhac et al. (2021) pour l'évaluation multicritère du lait destiné à la fabrication de fromage au lait cru, concernant les impacts environnementaux de la production du lait et la qualité du lait obtenu. Une des contributions de ce travail est le recours à des méthodes d'analyse rapides et opérationnelles à large échelle : analyses du lait en spectroscopies en moyen infra-rouge et fluorescence, et résultats de diagnostic CAP'2ER® de l'exploitation. Sur 15 fermes laitières herbagères situées dans le Cantal, représentatives de trois types d'adaptation au contexte territorial, le modèle d'évaluation multicritère testé dans cette étude s'est avéré sensible. Parmi les 4 composantes de la qualité du lait et les 5 composantes de la performance environnementale analysées, seule la composante santé de la qualité du lait présente des différences significatives entre les différents types de fermes. Une corrélation significative et positive est établie entre risque d'eutrophisation et risque pour la santé. D'autres corrélations en tendance sont analysées entre les composantes de la qualité du lait et de la performance environnementale, en association avec les pratiques agronomiques.

## An operational method for the multicriteria evaluation of dairy farms by using spectroscopy on milk and the CAP'2ER® assessment tool

LEPOIVRE M. (1), MARTIN B. (2), GROLLEMUND P.-M. (3), LAURENT C. (2), BOTREAU R. (2),

MONSALLIER F. (4), HULIN S. (5), GERBER P. (6), CHASSARD C. (1), COPPA M. (6)

(1) Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Fromages, F-15000 Aurillac

## SUMMARY

This study proposes an adaptation of the methodologies of Botreau et al. (2018) and Rey-Cadilhac et al. (2021) for the multi-criteria assessment of milk intended for the manufacture of raw milk cheese, concerning the environmental impacts of milk production and the quality of the milk obtained. A main contribution is to rely on rapid and operational analysis methods on a larger scale: mid-infrared and fluorescence spectroscopies milk analyzes and CAP'2ER® diagnostic results of the farm. On 15 grassland dairy farms located in Cantal, representative of three types of adaptation to the territorial context, the multi-criteria evaluation model tested in this study proved to be sensitive. Among the 4 components of milk quality and the 5 components of environmental performance analyzed, only the health component of quality showed significant differences between the different farm profiles. A significant and positive correlation is found between the risk of eutrophication and risk for health. Other trending correlations are analyzed between the components of milk quality and environmental performance, in association with agronomic practices.

## INTRODUCTION

Les attentes sociétales vis-à-vis des produits laitiers évoluent constamment à travers une demande croissante sur la qualité des produits et sur l'impact environnemental du système d'élevage (European Union, 2020). Ceci explique l'intérêt croissant pour le développement de méthodologies d'évaluation multicritère (Lairez et al., 2015) de la qualité des produits laitiers et de leurs impacts sur l'environnement. Le projet Casdar Qualenvic (2013-2016) a conduit à la construction de méthodologies d'évaluation multicritère de la qualité du lait et de l'impact environnemental d'une exploitation laitière (Rey-Cadilhac et al., 2021, Botreau et al., 2018). Ces méthodologies, développées dans le cadre de projets de recherche, sont très complètes, souvent complexes à mettre en œuvre, et reposent sur des outils peu ergonomiques (Prache et al 2022). En effet, pour obtenir les indicateurs de la qualité (en lien avec la matière grasse, azotée et minérale, avec la microbiologie et avec l'aptitude technologique du lait) nécessaires à l'évaluation multicritère, elles nécessitent d'utiliser du matériel ou des outils de

laboratoire (dosage, pesée, tests bactériologiques, chromatographie et spectrométrie de masse). De même, les indicateurs environnementaux (émission de gaz à effet de serre, risques d'eutrophisation et d'acidification, biodiversité des écosystèmes) nécessitent la collecte de nombreuses données descriptives sur l'exploitation (superficies, composition du troupeau, ration, inventaires floristiques). Or il existe des outils plus rapides d'utilisation et moins onéreux qui permettent d'obtenir certains des indicateurs requis, notamment la spectroscopie moyen infrarouge (MIR) et la fluorescence pour caractériser la qualité du lait, et l'outil CAP'2ER® (Moreau et al., 2016) pour évaluer les impacts environnementaux, outil d'ores-et-déjà utilisé en routine au sein des chambres d'agricultures. Cette étude poursuit l'objectif principal d'approfondir la connaissance des relations entre la qualité d'un lait destiné à la fabrication de fromages au lait cru et les impacts environnementaux de la ferme qui produit le lait, via une adaptation des méthodologies d'évaluation multicritère de la qualité du lait de Rey-Cadilhac et al. (2021) aux outils MIR et de fluorescence, et de l'impact

1 environnemental de Botreau et al. (2018) à l'outil CAP'2ER®. 41  
 2 Elle apporte des éléments de réponse à la question : « est-il 42  
 3 possible de produire un lait de qualité avec le plus faible 43  
 4 impact environnemental possible ? ». 44  
 5  
 6 **1. MATERIEL ET METHODES** 46  
 7  
 8 **1.1. ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DU LAIT** 48  
 9 L'arbre de qualité du lait destiné à une transformation 49  
 10 fromagère au lait cru et à pâte pressée non cuite proposé par 50  
 11 Rey-Cadilhac et al. (2021) a été adapté en ne retenant que 51  
 12 les indicateurs qui peuvent être prédits par spectroscopie ou 52  
 13 de fluorescence. 53  
 14 Une succession de comités techniques et la consultation de 54  
 15 la littérature scientifique ont permis d'adapter les seuils 55  
 16 favorables et défavorables tels que décrits dans Rey- 56  
 17 Cadilhac et al. (2021), afin de définir pour chaque indicateur 57  
 18 une note comprise entre 0 (la moins bonne qualité) et 10 (la 58  
 19 meilleure). La note finale de qualité est la moyenne pondérée 59  
 20 des différentes notes, les pondérations ayant été adaptées à 60  
 21 la nouvelle structure de l'arbre, validée avec les comités 61  
 22 techniques de notre étude et en accord avec la littérature 62  
 23 scientifique. 63  
 24 L'arbre de qualité mis à jour dans le cadre de cette étude est 64  
 25 finalement structuré en 4 composantes, 7 principes (1 à 3 par 65  
 26 composante) et 26 indicateurs, comme détaillé dans le 66  
 27 tableau 1. 67  
 28  
 29 **1.2. ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE** 68  
 30 **ENVIRONNEMENTALE** 69  
 31 Nous proposons une adaptation de l'arbre environnement 70  
 32 décrit par Botreau et al. (2018) afin de calculer la note sur 10 71  
 33 en ne retenant que les indicateurs pouvant être fournis par 72  
 34 l'outil CAP'2ER®. Cet outil fournit de façon automatique la 73  
 35 plupart des indicateurs nécessaire à l'évaluation 74  
 36 environnementale. Des calculs simples de conversion 75  
 37 permettent ensuite d'obtenir les indicateurs dans les unités 76  
 38 voulues (exemple : par 1000 kg de lait produit) afin de 77  
 39 calculer, en reprenant les seuils favorables et défavorables 78  
 40 de la méthodologie de Botreau et al. (2018), les notes 79

comprises entre 0 (la moins bonne qualité) et 10 (la  
 meilleure).  
 L'arbre environnement adapté dans le cadre de cette étude  
 est finalement structuré en 5 composantes, 6 principes (1 à 2  
 par composante), et 6 indicateurs, comme détaillé dans le  
 tableau 2.

### 1.3. DONNEES DE QUALITE DES LAITS ET DONNEES D'ENQUETES EN FERME

L'étude porte sur 15 exploitations, toutes situées dans le  
 Cantal, sélectionnées pour obtenir une bonne variabilité des  
 conditions de production dans les systèmes montagnards du  
 Massif central. Ainsi les fermes sont représentatives de trois  
 types d'adaptation au contexte territorial : HP (priorité donnée  
 au pâturage), HF (ration valorisant le foin toute l'année) et  
 HMC (rations d'hiver comprenant de l'ensilage de maïs).

	Herbe	Foin	Conc.	Maïs H.	Prod. laitière
HP	50 ± 11	43 ± 10	5 ± 9	3 ± 13	4 837 ± 780
HF	27 ± 11	61 ± 10	13 ± 9	0 ± 13	4 822 ± 780
HMC	38 ± 11	30 ± 10	25 ± 9	14 ± 13	6 259 ± 780

**Tableau 3** Caractéristiques des fermes par type d'adaptation au territoire. Herbe / Foin / Conc. / Maïs H. / Prod. laitière = respectivement part d'herbe pâturée / de foin / de concentrés dans la ration annuelle / d'ensilage de maïs dans la ration d'hiver (en %), Prod. laitière : production annuelle en L de lait / VL.

Les données de qualité du lait ont été obtenues à partir  
 d'échantillons de lait de tank collectés entre 2013 et 2014 (2  
 prélèvements par exploitation ont été pris en compte, l'un lors  
 de la saison de pâturage, l'autre lors de la période en  
 bâtiment) et analysés par MIR et fluorescence. En parallèle  
 les données environnementales ont été déterminées pour  
 l'année entière via le logiciel CAP'2ER® à partir des  
 caractéristiques de l'exploitation (surface de prairie fauchées  
 et pâturées, chargement à l'hectare, taux de race hautes  
 productives dans le troupeau, production laitière) et de sa  
 conduite (âge au premier vêlage, temps passé au pâturage  
 dans l'année, taux de renouvellement des vaches laitières

Composantes	Principes	Critères	Indicateurs
Sensorielle (10)	Texture (33) Flaveur (67)	Gras/sec, Fondant, Fermeté de la pâte, Protéolyse Goûte altéré, goût rance	TB/TP, C18:1 totaux /C16:0, Taux d'urée, Dénombrement cellulaire Dénombrement cellulaire, Teneur en AGL
Technologique (20)	Aptitude à l'acidification (20) Aptitude au Rendement fromager (45) Aptitude à l'égouttage (35)	Pouvoir tampon Teneur en caséine au moment, de la transformation, TB/TP, TB Pouvoir tampon, Consistance du gel	Dénombrement cellulaire, Taux d'urée Teneur totale en caséine, Dénombrement cellulaire, TB/TP, TB Dénombrement cellulaire, Taux d'urée, Teneur totale en caséine
Santé (30)	Constituants bioactifs (100)	Composés lipidiques, Composés azotés	Teneur en C4:0, Teneur en C6:0+C8:0+C0:0, Teneur en C17:0, Teneur en ALA AGPI, Teneurs en AGS totaux, Teneur en C16:0, Teneur totale en caséine
Nutritionnelle (40)	Energie et macro-éléments (100)	Composition lipidique Teneur en protéine	Teneur en ALA, TB/taux en CN dans le lait cru, Dénombrement cellulaire

**Tableau 1** Structure de l'évaluation multicritère de la qualité intrinsèque du lait bovin pour la production fromagère, par composante. Entre parenthèse : poids de la composante dans la note globale, ou du principe dans la composante

Composantes	Principes	Indicateurs
Air (30)	Changements climatiques (100)	Gaz à effet de serre
Eau (15)	Eutrophisation dans l'eau (100)	Acide phosphorique
Sol (15)	Acidification de l'air (100)	Dioxyde de soufre
Ressources (20)	Occupation d'espace (43) Utilisation d'énergie fossiles (57)	SAU Consommation d'énergie fossile
Biodiversité (20)	Biodiversité écosystémique (100)	Biodiversité

**Tableau 2** Structure de l'évaluation environnementale multicritère de fermes bovines productrices de lait destinés à la fabrication de fromages au lait cru, par composante. Entre parenthèse : poids de la composante dans la note globale, ou du principe dans la composante

78  
79  
80  
81

82  
83  
84  
85

part d'herbe conservée, d'herbe pâturée, de concentrés, de maïs et d'autres fourrages dans la ration) et collectées par enquête en 2013 et 2014.

L'analyse des données et des notes issues de l'arbre de qualité du lait est effectuée a) sur la période de pâturage, b) sur la période en bâtiment, et c) sur l'ensemble de l'année en considérant la moyenne des valeurs en période de pâturage et en bâtiment, pondérée par la durée respective de ces deux périodes.

#### 1.4. RELATION ENTRE LA QUALITE DU LAIT ET ENVIRONNEMENTALE

Afin d'analyser d'éventuelles corrélations entre les conditions de production (rotation, conduite du troupeau, rations alimentaires...), la performance environnementale et la qualité du lait destiné à la fabrication du fromage, une étude conjointe de ces nouveaux indicateurs a été réalisée à l'aide d'analyse de variance (ANOVA) et d'analyses en composantes principales (ACP) avec le logiciel R (<https://www.r-project.org>) afin de déterminer les grandes tendances structurelles de ces données.

## 2. RESULTATS

### 2.1. ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DU LAIT

La moyenne des notes de la qualité du lait obtenue dans les 15 fermes est de 5,2 et les moyennes par composante sont de 5,9 pour la composante sensorielle, 5,4 pour la composante technologique, 4,6 pour la composante santé et 4,2 pour la composante nutritionnelle.

Les notes de qualité (globale et par composante) sont peu différentes d'un type de ferme à l'autre (tableau 4). Seule la qualité santé est significativement supérieure dans le type HMC comparativement au type HP.

Composante	Type de ferme			SEM	p-value
	HP	HF	HMC		
Sensorielle	5,5	4,5	7,3	1,7	0,091
Technologique	5,3	5,3	5,5	1,1	0,973
Santé	4,2 a	4,4 ab	5,3 b	0,6	0,022
Nutritionnelle	4,1	4,2	4,4	1,1	0,889
Qualité globale	5,0	4,7	5,9	0,8	0,109

**Tableau 4** Résultats de l'analyse de variance des notes des 4 composantes de qualité du lait, et de la qualité globale du lait, sur base annuelle, selon les 3 types de ferme (notes exprimées sur 10). SEM : écart type standardisé, HP : exploitation les plus pâturantes, HF : exploitations valorisant le foin, HMC : exploitation les plus intensives de l'échantillon

La composante sensorielle présente la plus grande variabilité des notes (de 1,2 à 8,2) alors que la composante santé présente les notes les moins diversifiées d'un élevage à l'autre (de 3,4 à 5,6).

### 2.2. ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE

La moyenne des notes de performance environnementale dans les 15 fermes étudiées est de 6,81. Globalement les notes les plus élevées sont celles concernant l'eutrophisation dans l'eau (moyenne de 9,7), le changement climatique (7,6) et les ressources (7,2). Les notes le plus basses sont pour l'acidification de l'air (5,8) et surtout pour la biodiversité (4,0). Les notes environnementales sont peu différentes d'un type de ferme à l'autre et aucune différence significative n'est observée entre les 3 types (tableau 5).

Ce sont les notes de biodiversité qui présentent la plus grande variabilité (notes allant de 0,8 à 9,7) alors que les notes liées à l'eutrophisation sont les moins diversifiées d'un élevage à l'autre (de 7,1 à 10,0).

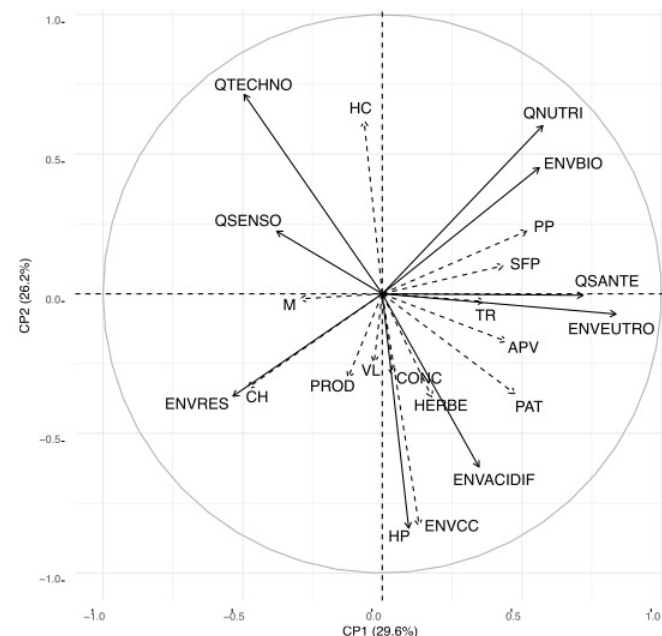
#### Types de fermes

	HP	HF	HMC	SEM	p-value
Climat	7,78	6,39	8,06	1,17	0,166
Eutrophisation	9,37	9,79	9,97	0,83	0,461
Acidification	6,95	3,99	5,23	1,72	0,064
Ressources	7,20	6,20	7,48	1,34	0,431
Biodiversité	2,96	4,73	4,99	2,18	0,267
Note globale	6,81	6,17	7,19	0,70	0,174

**Tableau 5** Résultats de l'analyse de variance des 5 composantes de performance environnementale selon les 3 types de ferme. SEM : écart type standardisé, HP : exploitations les plus pâturantes, HF : exploitations valorisant le foin, HMC : exploitations les plus intensives de l'échantillon

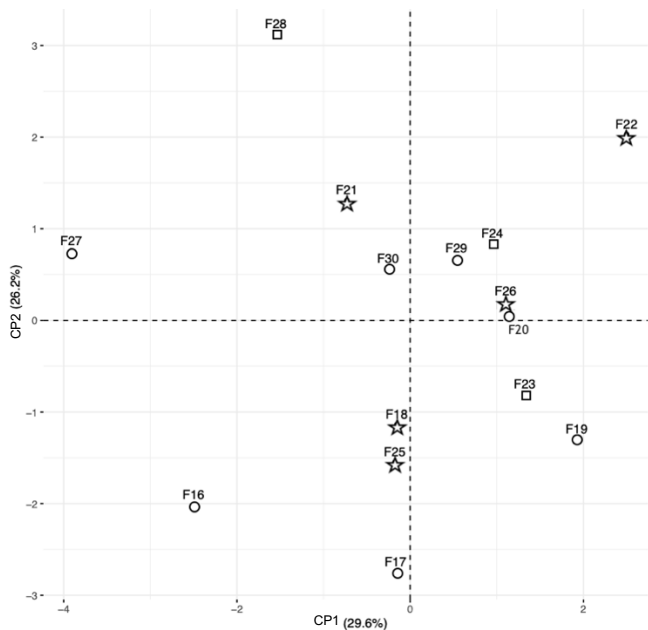
### 2.3. RELATION ENTRE LA QUALITE DU LAIT ET LA PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE

Les analyses en composantes principales (ACP) permettent d'établir les relations suivantes (figure 1) : les notes d'eutrophisation et de composante santé sont positivement corrélées à l'axe 1 (CP1, 29,6 % d'explication). Ces deux variables sont opposées sur CP1 aux composantes ressources, technologique et sensorielle. Autrement dit, on constate que la première structure marquante est l'opposition entre les composantes eutrophisation et santé, et les composantes ressources, technologique et sensorielle.



**Figure 1** Analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les 13 principales variables descriptives (flèches en pointillés) des 15 exploitations auditées, dans le plan défini par les 2 axes principaux (CP1 et CP2) qui expliquent le mieux les 4 notes de qualité et les 5 notes environnementales (9 flèches pleines). QTECHNO : qualité technologique, QSENSO : qualité sensorielle, QSANTE : qualité sanitaire, QNUTRI : qualité nutritionnelle, ENVEUTRO : note d'eutrophisation, ENVRES : note ressources, ENVCC : note changement climatique, ENVACIDIF : note acidification de l'air, ENVBIOD : note biodiversité, VL : nombre de vaches laitières, PP : surfaces de prairies permanentes, APV : âge au premier vêlage, PAT : temps passé au pâturage, TR : taux de renouvellement, HC : taux d'herbe conservée dans la ration, HERBE : proportion d'herbe pâturée dans la ration, CONC : proportion de concentrés dans la ration, M : proportion de maïs dans la ration, AF : proportion d'autres fourrages dans la ration, HP : taux de race hautes productives dans le troupeau, PROD : production laitière, CH : chargement, SF : surface fourragère. Pour compléter ce qui est déterminé sur CP1, on constate que la composante technologique est corrélée positivement à

1 l'axe 2 (CP2, 26,2 % d'explication) tandis que les  
 2 composantes de changement climatique et d'acidification y  
 3 sont corrélées négativement. Enfin, les bonnes notes  
 4 technologique et nutritionnelle ainsi qu'en biodiversité sont  
 5 corrélées positivement à l'axe 3 (CP3, 16,7 % d'explication).  
 6 Parallèlement, les variables qui apparaissent, dans l'ACP,  
 7 comme les plus déterminantes parmi les 13 qui décrivent les  
 8 exploitations sont d'abord la surface totale de prairies  
 9 permanentes présentes sur l'exploitation, l'âge au premier  
 10 vêlage, et le temps passé au pâturage dans l'année. On  
 11 identifie ensuite comme paramètres déterminants le taux  
 12 d'herbe conservée dans la ration, la proportion d'animaux de  
 13 race de vaches hautes productrices dans le troupeau, et les  
 14 proportions d'herbe pâturée et de concentrés dans la ration.  
 15 Ainsi les ACP réalisées ont permis de vérifier que les fermes  
 16 de l'échantillon sont dispersées sur les plans définis par  
 17 CP1/CP2 (figure 2) mais aussi CP1/CP3.  
 18



19 **Figure 2** Répartition des 15 exploitations auditées (réparties  
 20 dans les 3 types : HP représentés par un rond, HF=carré et  
 21 HMC=étoile) sur les axes CP1 et CP2.  
 22  
 23

24 La méthode permet de discriminer les fermes, bien que les 3  
 25 types de fermes soient assez peu différents (même territoire  
 26 et systèmes peu différents). Les notes de qualité du lait et de  
 27 performance environnementale varient selon des facteurs ou  
 28 des pratiques qui semblent être transversales aux types de  
 29 fermes.

	Climat	Eutro.	Acidif.	Ress.	Biodiv.
Senso.	0,10	-0,33	-0,19	<b>0,46</b>	0,01
<i>p-value</i>	0,719	0,237	0,499	<b>0,086</b>	0,986
Techno.	<b>-0,47</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,50</b>	0,01	-0,08
<i>p-value</i>	<b>0,080</b>	<b>0,097</b>	<b>0,057</b>	0,980	0,762
Santé	0,33	<b>0,56</b>	0,09	-0,22	0,43
<i>p-value</i>	0,235	<b>0,028</b>	0,750	0,422	0,114
Nutrit.	-0,33	0,42	0,08	<b>-0,51</b>	0,44
<i>p-value</i>	0,223	0,115	0,766	<b>0,051</b>	0,104
Note glo.	-0,08	-0,22	-0,27	0,22	0,12
<i>p-value</i>	0,770	0,424	0,325	0,438	0,681

30 **Tableau 5** Corrélations pour les 15 exploitations auditées sur  
 31 les 4 composantes de la qualité du lait et les 5 composantes  
 32 de l'évaluation environnementale. En gras : corrélations avec  
 33 *p-value* < 0,10. Eutro. : eutrophisation, Acidif. : acidification,  
 34 Ress. : ressources, Biodiv. : biodiversité, Senso. : sensorielle,  
 35 Techno. : technologique, Nutri. : nutritionnelle, glo. : globale.  
 36 La matrice de corrélation entre les notes environnementales  
 37 et les notes de qualité (tableau 5) permet de compléter les  
 38 résultats de l'ACP. Des corrélations positives sont  
 39 démontrées entre les notes eutrophisation et santé (P<0,05)  
 40

41 et entre les notes ressources et sensorielles (P<0,10). Des  
 42 corrélations négatives et tendancielle (P<0,10) existent entre  
 43 les notes de changement climatique et technologiques, entre  
 44 les notes d'eutrophisation et technologique, entre les notes  
 45 acidification et technologiques et entre les notes de  
 46 ressources et nutritionnelles.  
 47

### 48 3. DISCUSSION

#### 49 3.1. ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DU LAIT

50 La principale conséquence de la simplification de l'arbre de  
 51 qualité, passant de 50 à 26 indicateurs, est la perte de prise  
 52 en compte de certaines caractéristiques du lait. Les  
 53 catégories d'indicateurs écartés sont ceux basés sur :

- des analyses minérales et microbiologiques
- des tests technologiques : tests de fromageabilité, de stabilité micellaire, de lactofermentation

54 Cette simplification de l'arbre a fortement modifié les  
 55 composantes technologique et sensorielle (-67 % et -59 %  
 56 des indicateurs initiaux respectivement) et secondairement la  
 57 composante nutritionnelle (-50 % des indicateurs). La  
 58 composante santé a été la moins fortement modifiée (- 38 %  
 59 des indicateurs).  
 60

61 Finalement, les notes obtenues avec l'arbre de qualité adapté  
 62 à l'application terrain sont supérieures de 0,25 point en  
 63 moyenne à celles obtenues avec l'arbre de décision global  
 64 appliqué à des exploitations agricoles comparables (Botreau  
 65 et al., 2018 et Rey-Cadilhac et al., 2021) appartenant en  
 66 partie au même territoire. Les résultats obtenus montrent  
 67 globalement une bonne variabilité : la méthode est sensible  
 68 concernant l'arbre de qualité.  
 69

70 Le manque de différence de notes entre les types de ferme  
 71 reste surprenant (hormis pour la composante santé) : les  
 72 différences de pratiques entre les types de ferme semblent  
 73 peu influencer les notes, qui sont probablement pilotées par  
 74 d'autres facteurs que ceux pris en compte dans l'étude.  
 75  
 76

#### 77 3.2. ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE

78 Les résultats obtenus avec l'arbre d'évaluation de la  
 79 performance environnementale montrent globalement une  
 80 bonne variabilité : la méthode est sensible également  
 81 concernant l'arbre environnement. La variabilité est similaire  
 82 à celle obtenue dans Botreau et al. (2018).  
 83

84 La note environnementale globale de 4 des 5 composantes  
 85 de l'environnement est plus élevée qu'avec l'arbre de Botreau  
 86 et al. (2018). Au contraire pour la composante "biodiversité" :  
 87 la note est plus faible avec notre arbre de décision : 4,0 vs  
 88 6,6. Le fait que ces notes soient globalement plus élevées  
 89 comparativement à celles obtenues avec l'arbre décisionnel  
 90 global (Botreau et al., 2018) est lié aux changements  
 91 important concernant la composition de l'arbre et le mode de  
 92 calcul de certains indicateurs.  
 93

94 Là aussi le manque de différences de notes entre les types  
 95 de fermes est notable et traduit le fait que les choix de  
 96 conduite de l'exploitation retenus dans cette étude  
 97 n'influencent que peu ces notes, qui sont probablement  
 98 pilotées par d'autres facteurs (voir §3.3).  
 99

#### 100 3.3. RELATION ENTRE LA QUALITÉ DU LAIT ET LA PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE

101 Le résultat de corrélation le plus innovant concerne la relation  
 102 positive et significative entre les notes d'eutrophisation et de  
 103 santé. Rappelons qu'une bonne note d'eutrophisation reflète  
 104 l'impact négatif faible des pertes d'azote et de phosphore sur  
 105 la qualité de l'eau, donc le faible risque de favoriser  
 106 l'eutrophisation, en réduisant les concentrations de monoxyde  
 107 d'azote (NO), d'ammoniac (NH<sub>3</sub>), de trioxyde d'azote (NO<sub>3</sub>),  
 108 de pentoxyde de phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) et d'ion phosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)  
 109 dans le milieu naturel. Par construction, une bonne note sur  
 110 la composante santé est associée à de fortes concentrations  
 111 de composés azotés (caséines) et de plusieurs lipides (C4:0,  
 112

1 teneur totale en C6:0 + C8:0 + C10:0, ALA, AGPI) et de  
2 faibles concentrations en C17:0, en acides gras saturés  
3 totaux, et en C16:0. Notre travail méthodologique et les  
4 analyses des notes obtenues permettent d'associer ces  
5 caractéristiques au fait d'avoir beaucoup d'herbe pâturée  
6 dans la ration, avec un long temps passé à pâturer toute  
7 l'année. Cette relation peut s'expliquer par la richesse, dans  
8 les exploitations pâturantes (nombreuses prairies et longue  
9 durée de pâturage) du lait produit en ces acides gras (Coppa  
10 et al., 2015) et par les faibles pertes en azote de ces mêmes  
11 exploitations (Guerci et al., 2013). Il est aussi établi qu'avec  
12 l'augmentation de la part d'herbe dans la ration, la teneur en  
13 C16:0 diminue tandis que celle en ALA augmente (Coppa et  
14 al., 2015).  
15 L'autre résultat à souligner est la corrélation (négative et en  
16 tendance,  $p=0,057$ ) concernant les notes d'acidification et de  
17 qualité technologique. En d'autres termes, le risque  
18 d'acidification de l'air (CAP '2ER<sup>®</sup> fournit un indicateur de  
19 l'accumulation de substances acidifiantes dans l'air : NO,  
20 NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>) est plus faible dans des conditions où le lait a une  
21 qualité technologique moindre. Cette note de qualité  
22 technologique augmente notamment lorsque le taux de  
23 cellules somatiques et d'urée dans le lait sont bas. Notre  
24 méthodologie identifie ces bonnes notes d'acidification et  
25 moins bonne en qualité technologiques dans les exploitations  
26 où la proportion d'animaux de race de vaches hautes  
27 productrices dans le troupeau et la part de concentrés élevés  
28 dans la ration sont élevées. Ces résultats sont en accord  
29 avec ceux d'Agabriel et al. (2004) et Coppa et al., (2019)  
30 mettant en évidence que ces conditions de production sont  
31 souvent accompagnées d'un taux de cellules somatiques  
32 plus élevé. Ils sont cohérents également avec l'effet d'une  
33 augmentation des quantités de concentrés azotés sur le taux  
34 d'urée démontré par Baeza-Campone et al. (2020) et sur les  
35 processus de libération de NH<sub>3</sub> plus fort lors du stockage des  
36 effluents démontré par Guerci et al.(2013), donc un risque  
37 d'acidification accru.  
38 La troisième corrélation (négative et presque significatif  
39  $p=0,051$ ) concerne la note d'impact sur les ressources et la  
40 composante nutritionnelle. Autrement dit l'impact sur les  
41 ressources (qui intègre la consommation d'espace en  
42 hectares pour 1000 kg de lait et d'énergies fossiles en  
43 mégajoules pour 1000 kg de lait) est plus fort quand la qualité  
44 nutritionnelle du lait produit est meilleure. On comprend que  
45 ce sont les systèmes extensifs, au regard de l'unité  
46 fonctionnelle choisie, qui ont un impact fort sur les ressources  
47 puisqu'ils présentent une production laitière moindre et donc  
48 souvent aussi un taux de cellules somatique dans le lait plus  
49 faible. En effet, la note de qualité nutritionnelle est associée à  
50 la teneur en ALA, au rapport TB/ teneur en caséine dans le  
51 lait cru et dans une moindre mesure au nombre de cellules.  
52 La teneur en ALA dans le lait s'explique probablement par la  
53 composition botanique diversifiée des prairies pâturées en  
54 gestion extensive (Renna et al., 2020). En effet les systèmes  
55 de pâturage extensifs s'appuient sur les prairies naturelles,  
56 connues pour l'importance des plantes dicotylédones, riches  
57 en métabolites secondaires (Cabiddu et al., 2022). Ces  
58 composés dans l'herbe permettant un transfert plus élevé  
59 d'ALA dans le lait en raison de leur capacité à inhiber  
60 partiellement la biohydrogénation ruminale des AGPI de  
61 l'herbe (Leiber et al., 2005).  
62 Les résultats de cette étude permettent de confirmer, sur la  
63 base de notre échantillon de 15 fermes, les tendances  
64 observées précédemment (Botreau et al., 2018) : il n'y a pas  
65 de corrélation entre la note globale de la qualité d'un lait  
66 destiné à la fabrication de fromage au lait cru et la note  
67 globale des impacts environnementaux de l'exploitation  
68 agricole qui produit le lait. En revanche certaines  
69 composantes de la qualité du lait sont corrélées  
70 négativement avec les impacts environnementaux (la  
71 composante technologique et l'acidification de l'air, mais  
72 aussi la composante nutritionnelle et la consommation de  
73 ressources). De plus la performance environnementale et la

qualité du lait ne peuvent pas toujours être optimales sur tous  
les éléments constitutifs des arbres d'évaluation du fait de la  
présence d'effet antagoniste de certaines pratiques (par  
exemple : le pâturage extensif consomme de l'espace mais  
permet un taux d'ALA élevé). Ceci rendra donc nécessaire la  
définition d'objectifs spécifiques prioritaires, exploitation par  
exploitation, en fonction notamment du contexte territorial et  
d'enjeux économiques et sociaux, afin de sélectionner les  
pratiques à maintenir, mettre en place ou abandonner.

## CONCLUSION

La présente étude a abouti à la mise à disposition de 2 arbres  
d'évaluation susceptibles d'être utilisés en routine pour  
permettre une caractérisation simplifiée d'un lait du point de  
vue de sa qualité et du point de vue des impacts  
environnementaux de l'exploitation qui le produit. Il sera utile  
de valider cette méthodologie à plus large échelle et dans  
des contextes d'élevage différents et plus diversifiés.  
D'ores-et-déjà cette étude a permis d'analyser conjointement  
la qualité de laits destinés à la fabrication de fromage au lait  
cru et les impacts environnementaux de la production du lait.  
Il a été possible d'identifier les pratiques permettant de  
réduire un certain nombre d'impacts environnementaux  
négatifs (ex. : l'eutrophisation par la valorisation de l'herbe  
pâturée) tout en obtenant de bons résultats sur certaines  
composantes de la qualité du lait destiné à la fabrication de  
fromage (ex. : la composante santé dans le cas de la  
valorisation de l'herbe pâturée).  
Ceci confirme que les pratiques agricoles à privilégier sur une  
exploitation doivent dépendre des objectifs fixés, pour cette  
exploitation, concernant certaines composantes considérées  
comme prioritaires pour la qualité du lait comme pour les  
impacts environnementaux.

- Agabriel C., Martin B., Sibra C., Bonnefoy J-C., Montel M-C.,  
Didienne R., Hulin S., 2004.** Animal Research, EDP Sciences, 2004,  
53 (3), pp.221-234
- Baeza-Campone, E., Prache, S., Cliquant, A., Feidt, C., Gautron,  
J., Guiller, L., Lebret, B., Lefèvre, F., Martin, B., 2020.** Variabilité  
des propriétés des produits animaux selon les conditions d'élevage et  
de transformation - les déterminants, in: Prache, S., Santé-Lhoutellier,  
V. (Eds.), Qualité des aliments d'origine animale, conditions de  
production et de transformation, Rapport de l'expertise Scientifique  
Collective. INRAE (France), pp. 183-532.
- Botreau, R., Beauchet, S., Laurent, C., Hulin, S., Hérisset, R.,  
Thiollet-Scholtus, M., Kanyarushoki, C., Boucault, P., Renaud-  
Gentié, C., Jourjon, F., 2018.** Innov. Agron. 63, 23-42
- Cabiddu A., Peratoner G., Valenti B., Monteils V., Martin B.,  
Coppa M., 2022.** Animal 16, Supplement 1
- Coppa M., Ferlay, G. Borreani, A. Revello-Chion, E. Tabacco,  
Tornambé G., Pradel P., and Martin B., 2015.** Anim. Feed Sci.  
Technol. 208:66-78.
- Coppa M., Chassaing C., Sibra C., Cornu A., Verbič J., Golecký J.,  
Engel E., Ratel J., Boudon A., Ferlay A., and Martin B., 2019.**  
Journal of Dairy Science 102:10483-10499.
- European Union, 2020.** A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy  
and environmentally-friendly food system. European Commission,  
13-14
- Guerci, M., Knudsen, M.T., Bava, L., Zucali, M., Schönbach, P.,  
Kristensen, T., 2013.** J. Clean. Prod. 54, 133-141
- Lairez, J., Feschet, P., Aubin, J., Bockstaller, C., Bouvarel, I.,  
2015.** Agriculture et développement durable. Guide pour l'évaluation  
multicritère, Éditions Quae, Paris, France.
- Leiber, F., Kreuzer M., Nigg D., Wettstein H.-R., Scheeder M.R.L.,  
2005.** Lipids 40:191-202
- Moreau S., Brocas C., Dollé J.B., 2016.** LCA Food
- Prache S., Adamiec C., Astruc T., Baeza-Campone E., Bouillot  
P.E., Clinquant A., Feidt C., Fourat E., Gautron J., Girard A.,  
Guillier L., Kesse-Guyot E., Lebret B., Lefèvre F., Le Perchec S.,  
Martin B., Mirade P.S., Pierre F., Raulet M., Rémond D., Sans P.,  
Souchon I., Donnars C., Santé-Lhoutellier V., 2022.** Animal 16,  
Supplement 1
- Renna, M., Ferlay A., Lucciana C., Bany D., Graulet B., Wyss U.,  
Ravetto Enri S., Battaglini L.M., Coppa M., 2020.** Anim. Feed Sci.  
Technol. 267:114561
- Rey-Cadillac L., Botreau R., Ferlay A., Hulin S., Hurtaud C.,  
Lardy R., Martin B., Laurent C., 2021.** Animal 15, issue 7