# 26è

# RENCONTRES RECHERCHES RUMINANTS

Les 7 et 8 décembre 2022

## Session

Qualité des produits

INRAE

INSTITUT DE L'ELEVAGE idele

ELIANCE

Des éleveurs. Une ambition.

# La fédération des entreprises de service et conseil en élevage

## En R&D, Eliance c'est :

**30** ingénieurs, techniciens et chercheurs

**+ 2M** d'€ de budget annuel

**+ 50** publications scientifiques par an

De nombreux outils et partenariats : station de phénotypage de Nouzilly, UMT (Unité Mixte Technologique) eBis, LPA (Laboratoire Partenarial Associé) épigénétique, APIS-GENE, CIRBEEF...

## L'expertise de notre réseau :

- Génétique
- Reproduction
- Nutrition
- Santé
- Bien-être animal
- Impacts environnementaux
- Qualité des produits
- Nouvelles technologies
- Efficience

# RÉUSSIR
Nourrir votre performance

**OPTIMISEZ LA GESTION QUOTIDIENNE**
de votre **EXPLOITATION** grâce aux **REVUES RÉUSSIR**

11 N° PAR AN

11 N° PAR AN

Simplifiez-vous la vie
**en vous abonnant directement** sur :
boutique.reussir.fr

6 N° PAR AN

10 N° PAR AN

## WWW.REUSSIR.FR

LE 1ER SITE PORTAIL
D'INFORMATIONS AGRICOLES ET ALIMENTAIRES

POUR PLUS D'INFORMATIONS : RÉUSSIR Abonnement
1, rue Léopold Sédar Senghor - CS 20022 - 14902 CAEN CEDEX 9
**Tél. 02 31 35 87 28 - service.abonnement@reussir.fr**

AVEC LES TITRES DU GROUPE **RÉUSSIR**,
PORTEZ UN REGARD NEUF SUR VOTRE MÉTIER

# afrique agriculture SUR LE WEB

## Toute l'actualité agricole de l'Afrique en ligne sur :

**www.afrique-agriculture.org**

**Et pour nos abonnés, bénéficiez en plus :**

- De votre magazine accessible en ligne
- Des contenus exclusifs réservés aux abonnés
- Des articles en illimité sur tous vos écrans

## LE SITE DE RÉFÉRENCE DES DÉCIDEURS DE L'AGRICULTURE

**UNE INFORMATION QUOTIDIENNE ADAPTÉE À VOTRE MÉTIER**

**Distribution • Environnement • Décryptages**

**DÉCOUVREZ L'INTÉGRALITÉ DU SITE ET TOUS SES AVANTAGES,**
Newsletters thématiques, Podcasts, Mags en ligne exclusifs, Fiches RH & Management, l'accès à plus de + de 25 000 articles.

**DÉCOUVREZ-LE MAINTENANT**
**WWW.REFERENCE-AGRO.FR**

RÉFÉRENCE agro

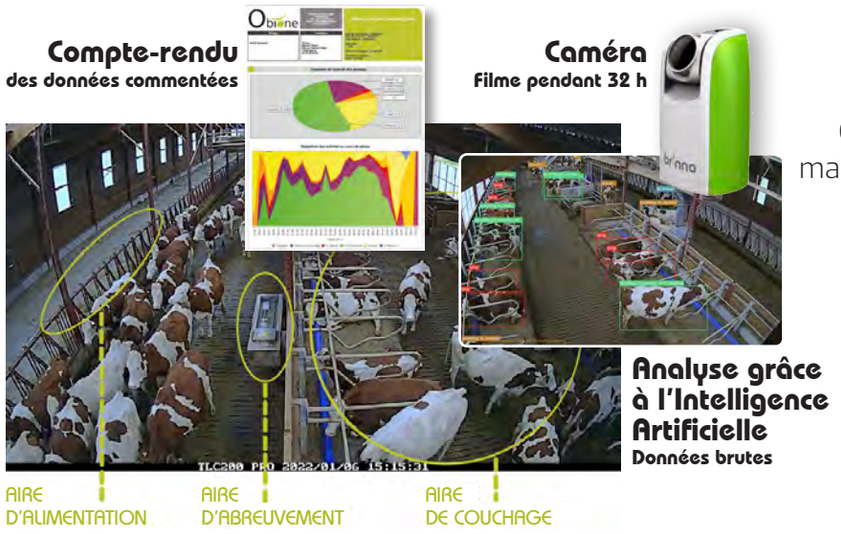
www.reference-agro.fr

# Que font vos vaches quand vous n'êtes pas là ?

Pour savoir ce qu'il se passe vraiment dans l'élevage il faut le regarder en continu et analyser ce qui est observé. Nous vous proposons une solution pratique, automatisée et très riche en informations :

**L'analyse par Intelligence Artificielle**
**et Application Spécifique du confort et de l'emploi du temps du troupeau.**

Voir ce que vous ne voyez pas, compter ce que nous ne pouvons habituellement pas compter, mettre en évidence les leviers de productivité, s'assurer du confort des animaux, contrôler leur environnement, juste en installant 2 caméras (fournies) dans votre bâtiment.




C'est couchées que les vaches font le lait, mais il leur faut un accès à l'auge et à l'abreuvoir sans entrave, toute la journée.

**➲ Alors observons et analysons !**

Calcul des index de couchage, de confort, d'abreuvement...

dilepix & Obione

ont mis en commun leur expertise pour une solution d'analyse inédite et totalement personnalisée

**www.dilepix.com** **www.obione.fr**

# LA REVUE DE L'alimentation animale

LE MENSUEL DES INDUSTRIES DE LA NUTRITION ANIMALE DEPUIS 1950

**OFFRE DUO**

*La carte de France des fabricants d'aliments (+ de 250 usines d'aliments) - valeur 20€

ABONNEMENT 1 AN
10 NUMÉROS

+

ANNUAIRE 2021/2022
DES FOURNISSEURS DE L'ALIMENTATION ANIMALE

## BON DE COMMANDE

**Oui,** je m'abonne

❍ 1 an
10 numéros +
*Annuaire des fournisseurs de l'alimentation animale 2021/2022*
**259 €TTC**

❍ 2 ans
20 numéros +
*Annuaire des fournisseurs de l'alimentation animale 2021/2022*
**341 €TTC**

Société .....
Nom .....
Prénom .....
Adresse .....
..... Code postal .....
Ville ..... Pays .....
Tél. ..... Facebook .....
E-mail (obligatoire) .....

**MON RÈGLEMENT**

❍ Chèque bancaire ou postal à l'ordre des Éditions Fitamant

❍ Carte bancaire N° |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_|
Date de validité |_|_| |_|_|_|_| Cryptogramme |_|_|_| *(3 derniers chiffres au dos de votre carte)*

❍ Par virement
Banque : crédit agricole – Éditions Fitamant
IBAN : FR76 3004 7140 7000 0201 7410 106
BIC : AGRIFRPP829

❍ Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date et signature (obligatoire)

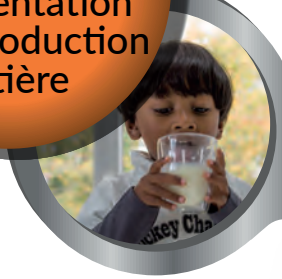
APAAA2021/2022

Conformément à la loi «Informatique et Libertés» du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant.

**Éditions Fitamant - 2 rue Félix Le Dantec - CS 62020 - 29018 Quimper cedex**
**Tél. 00 33 (0)2 98 98 01 40 - abo@fitamant.fr - www.revue-alimentation-animale.fr**

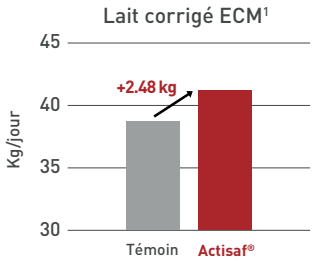
# Les solutions Phileo pour une production laitière durable

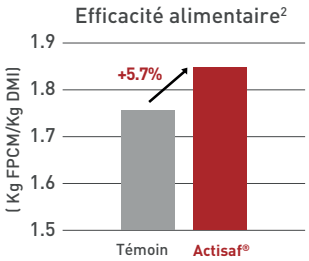
## Population
Augmentation de la production laitière



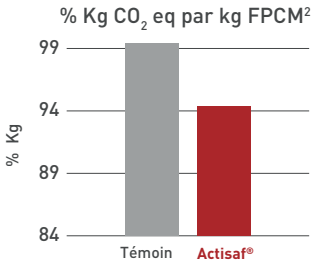
## Profit
Amélioration de l'efficacité alimentaire

ActiSaf Sc 47



## Planète
Réduction des émissions $CO_2$



La supplémentation en Actisaf® dans la ration des vaches laitières en lactation confrontées à des rations riches en énergie permet une augmentation de l'abondance relative des bactéries fibrolytiques et utilisatrices de lactate en réduisant le potentiel redox[(3)].

Au cours d'une méta-analyse incluant plus de 20 essais[(1)], il a été observé qu'une supplémentation de 5 g/v/j d'Actisaf® augmente la production laitière (1,74 kg/v/j) et le lait corrigé selon l'énergie (1,72 kg/v/j).

Phileo by Lesaffre


*1 –Legendre, H. and Salah, N et al - Meta-analysis study of the effects of live yeast supplementation on milk production and energy corrected milk of lactating dairy cows – In submission*

*2 -Effect of Actisaf® supplementation on dairy cows carbon footprint, report of 3 trials in Europe - Blonk consultants 2022 -Please note this claim is based on an LCA that is not ISO 14040/14044 critically reviewed*

*3 -Marden et al., 2008. How does live yeast differ from sodium bicarbonate to stabilize ruminal pH. J Dairy Sci.:91: 3528-3535*


## DIGESCAN

**Scannez ce code et découvrez notre nouveau service**

- Outil de diagnostique de l'efficacité alimentaire en élevage, facile d'utilisation.
- Le service Digescan se compose d'un outil de tamisage de bouses et d'une application téléphonique d'enregistrement des données pour un suivi optimisé.

# ABONNEZ-VOUS
# ET RECEVEZ LES DERNIÈRES INFOS
# “GRANDS TROUPEAUX / ÉLEVAGES CAPRINS”

## JE M'ABONNE À :

**GRANDS TROUPEAUX MAGAZINE** et **HORS SÉRIE NUTRITION** (9+1 numéros/an) + **NEWSLETTERS**
☐ **1 AN : 90 €** TTC (75 € HT) ☐ **2 ANS : 156 €** TTC (130 € HT)

**ÉLEVAGES CAPRINS MAGAZINE** et **HORS SÉRIE NUTRITION** (4+1 numéros/an) + **NEWSLETTERS**
☐ **1 AN : 75 €** TTC (62,50 € HT) ☐ **2 ANS : 135 €** TTC (112,50 € HT)

**GRANDS TROUPEAUX** & **ÉLEVAGES CAPRINS** et **HORS SÉRIE NUTRITION** + **NEWSLETTERS**
☐ **1 AN : 150 €** TTC (125 € HT) ☐ **2 ANS : 276 €** TTC (230 € HT)

Nom : .....

Prénom : .....

Société : .....

Activité : .....

Adresse : .....

.....

Code postal : ..... Ville : .....

Tél : .....

Mail* : .....@.....

** adresse mail indispensable si vous désirez recevoir nos newsletter*

☐ Je paie par chèque à l'ordre de COMEDPRO ☐ Je souhaite recevoir une facture

**BULLETIN D'ABONNEMENT À RETOURNER, ACCOMPAGNÉ DE VOTRE RÈGLEMENT À :**

COMEDPRO – 35 avenue de la Grande Champagne – 72300 Parcé-sur-Sarthe – 06 40 36 29 93

**www.grands-troupeaux-mag.fr / www.elevagescaprins.fr**

# Qualité des produits

## La qualité des aliments d'origine animale : enseignements d'une expertise scientifique collective

PRACHE S. (1), ADAMIEC C. (2), ASTRUC T. (3), BAEZA E. (4), BOUILLOT P.E. (5), CLINQUART A. (6), FEIDT C. (7), FOURAT E. (2), GAUTRON J. (4), GIRARD A., (8), GUILLIER L. (9), KESSE-GUYOT E. (10), LEBRET B. (11), LEFEVRE F. (8), LE PERCHEC S. (12), MARTIN B. (1), MIRADE P.S. (3), PIERRE F. (13), RAULET M. (14), REMOND D. (15), SANS P. (16), SOUCHON I. (17), DONNARS C. (14), SANTE-LHOUTELLIER V. (3)

(1) INRAE Université Clermont Auvergne Vetagro Sup, UMR1213 Herbivores, 63122 St-Genès-Champanelle, France
(2) MoISA, Université Montpellier, IRD, CIRAD, CIHEAM-IAMM, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France
(3) INRAE, QuaPA, 63122 St-Genès-Champanelle, France
(4) INRAE, Université de Tours, BOA, 37380 Nouzilly, France
(5) Centre de documentation et de recherches européennes (CRDE), Université de Pau et des pays de l'Adour, Campus de la Nive, Bayonne, France
(6) Université de Liège, FARAH, Faculté de Médecine Vétérinaire, 4000 Liège, Belgique
(7) Université Lorraine, Usc340, UR AFPA, INRAE, 2, avenue Foret de Haye, TSA 40602, 54518 Vandoeuvre-les-Nancy, France
(8) INRAE, LPGP, 35000 Rennes, France
(9) Anses, Risk assessment department, 94701 Maisons-Alfort, France
(10) Sorbonne Paris Nord University, Inserm, Inrae, Cnam, Nutritional Epidemiology Research Team (EREN), Epidemiology and Statistics Research Center–University of Paris (CRESS), 93017 Bobigny, France
(11) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 St-Gilles, France
(12) INRAE, DIPSO, 35042 Rennes, France
(13) Toxalim, Research Centre in Food Toxicology, Toulouse University, INRAE UMR 1331, ENVT, INP-Purpan, UPS, 31300 Toulouse, France
(14) DEPE, INRAE, 147, rue de l'Université, 75338 Paris Cedex 07, France
(15) Université Clermont Auvergne, INRAE, UNH, 63000 Clermont-Ferrand, France
(16) Université de Toulouse, INRAE, UR PSAE, ENVT, 31076 Toulouse, France
(17) INRAE, Avignon Université, SQPOV, 84000 Avignon, France

**RESUME -** Cette synthèse dresse un bilan critique de l'état des connaissances sur la qualité des aliments d'origine animale selon les conditions de production de l'animal et de transformation des produits, y compris les attentes et comportements des consommateurs et les effets de la consommation des aliments sur la santé humaine. La qualité a été déclinée selon sept dimensions : sanitaire, commerciale, organoleptique, nutritionnelle, technologique, d'usage et d'image. Cette dernière recouvre les dimensions éthiques, culturelles et environnementales associées à l'origine de l'aliment et à la manière dont il a été élaboré. Ce cadre permet de mettre en évidence les priorités accordées à ces différentes dimensions et d'identifier les antagonismes et synergies potentiels entre elles. Nous faisons un constat de priorité accordée aux dimensions commerciales de la qualité, notamment pour les produits standards. Cette priorité a fortement orienté la sélection génétique des animaux et les pratiques d'élevage dans toutes les filières. Elle a permis des gains quantitatifs considérables, mais souvent au détriment d'autres dimensions de la qualité. Des exemples emblématiques sont le poulet de chair standard, pour lequel la sélection sur la vitesse de croissance et le rendement en filet ont eu des conséquences délétères sur les propriétés organoleptiques, nutritionnelles et d'image, et le devenir des mâles dans la filière poules pondeuses ; et certaines filières laitières, qui ont fortement spécialisé leurs animaux. La qualité peut se construire mais aussi s'altérer tout au long de la chaîne alimentaire. Nous soulignons les facteurs et les périodes critiques, comme les pratiques d'élevage, notamment l'alimentation des animaux, les phases de pré-abattage et d'abattage, les pratiques de transformation et de formulation des aliments. Nous pointons certains facteurs qui créent des antagonismes entre différentes dimensions de la qualité, comme la castration des porcs mâles, la substitution des aliments d'origine marine par des aliments d'origine végétale chez les poissons, et l'utilisation des nitrites dans la transformation de la viande. Les recherches s'orientent vers les possibles compromis entre ces effets positifs et négatifs et/ou vers des solutions pour dépasser ces antagonismes. Il y a aussi des aliments qui valorisent des synergies entre différentes dimensions de la qualité et entre les phases de production et de transformation, notamment les indications géographiques. Les études d'épidémiologie nutritionnelle montrent des associations entre la consommation d'aliments d'origine animale et l'augmentation ou la diminution du risque de maladies chroniques ; elles ont permis de formuler des recommandations en matière de santé publique. Cependant, elles ne prennent pas encore en compte les conditions de production et de transformation, et nous pointons le besoin d'une meilleure connexion entre les communautés scientifiques à l'échelle de l'élevage, de la transformation, de la nutrition humaine et de l'épidémiologie pour combler cette lacune. Les besoins de recherche et les pistes d'action publique sont discutés.

## Quality of animal-source foods: lessons from a collective scientific expertise

PRACHE S. (1), ADAMIEC C. (2), ASTRUC T. (3), BAEZA-CAMPONE E.(4), BOUILLOT P.E. (5), CLINQUART A. (6), FEIDT C. (7), FOURAT E. (2), GAUTRON J. (4), GIRARD (8), GUILLIER L. (9), KESSE-GUYOT E. (10), LEBRET B. (11), LEFEVRE F. (8), LE PERCHEC S. (12), MARTIN B. (1), MIRADE P.S. (3), PIERRE F. (13), RAULET M. (14), REMOND D. (15), SANS P. (16), SOUCHON I. (17), SANTE-LHOUTELLIER V. (3)

(1) INRAE Université Clermont Auvergne Vetagro Sup, UMR1213 Herbivores, 63122 St-Genès-Champanelle, France

**SUMMARY -** This article critically reviews the state of knowledge on the quality of animal-source foods according to animal production and food processing conditions, including consumer expectations-behaviours and the effects of consumption of animal-source foods on human health. Quality has been defined through seven core attributes: safety, commercial, sensory, nutritional, technological, convenience, and image. Image covers ethical, cultural and

environmental dimensions associated with the origin of the food and the way it is produced and processed. This framework enables to highlight the priorities given to the different quality attributes. It also helps to identify potential antagonisms and synergies among quality attributes, between production and processing stages, and among stakeholders. Primacy is essentially given to commercial quality attributes, especially for standard-commodity animal-source foods. This primacy has strongly influenced genetic selection and farming practices in all livestock commodity chains and enabled substantial quantitative gains, although at the expense of other quality traits. Focal issues are the destructuration of chicken muscle that compromises sensory, nutritional and image quality attributes, and the fate of males in the egg and dairy sectors, which have heavily specialized their animals. Quality can be gained but can also be lost throughout the farm-to-fork continuum. Our review highlights critical factors and periods throughout animal production and food processing routes, such as on-farm practices, notably animal feeding, pre-slaughter and slaughter phases, food processing techniques, and food formulation. It also reveals on-farm and processing factors that create antagonisms among quality attributes, such as the castration of male pigs, the substitution of marine-source feed by plant-based feed in fish, and the use of sodium nitrite in meat processing. These antagonisms require scientific data to identify trade-offs among quality attributes and/or solutions to help overcome these tensions. There are also food products that value synergies between quality attributes and between production and processing phases, particularly Geographical Indications. Human epidemiological studies have found associations between consumption of animal-source foods and increased or decreased risk for chronic non-communicable diseases. These associations have informed public health recommendations. However, they have not yet considered animal production and food processing conditions. A concerted and collaborative effort is needed from scientists working in animal science, food process engineering, consumer science, human nutrition and epidemiology in order to address this research gap. Avenues for research and main options for policy action are discussed.

## INTRODUCTION

La consommation d'aliments d'origine animale par habitant est élevée en Europe. Elle est questionnée sur le plan de l'environnement, de la santé humaine et de l'éthique, avec des préoccupations sociétales envers le bien-être des animaux (BEA). L'OMS et la FAO recommandent de réduire la part des produits animaux dans l'alimentation humaine. Santé Publique France a également récemment modifié ses recommandations quant à la consommation de viande rouge et de charcuterie et recommandé de rééquilibrer les sources de protéines végétales et animales dans l'alimentation, alors que le régime alimentaire moyen en Europe occidentale contient 65-70 % de protéines animales. Ces questions s'adressent à un secteur où coexistent différents modèles de production/transformation, les conditions d'élevage des animaux et les procédés de transformation des aliments étant très divers, avec des effets majeurs sur la qualité des aliments. Cette synthèse analyse la manière dont la qualité des aliments d'origine animale est construite et modulée par les pratiques d'élevage et les procédés de transformation. Elle résume les principaux enseignements d'une expertise scientifique collective (Prache et al., 2020a), réalisée par INRAE à la demande du ministère de l'Agriculture et l'Alimentation et de FranceAgriMer. Elle considère les différentes dimensions de la qualité d'un aliment, c'est-à-dire l'ensemble des propriétés et caractéristiques qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire les besoins d'un utilisateur, ainsi que ses effets sur la santé humaine. La qualité y a été analysée à travers sept dimensions : sanitaire, commerciale, organoleptique, nutritionnelle, technologique, d'usage et d'image (Figure 1). Ce cadre permet de mettre en évidence les priorités que les différents acteurs accordent à ces différentes dimensions et d'identifier les potentiels antagonismes et synergies entre elles. Cette expertise a été centrée sur les principaux produits issus d'animaux élevés en Europe : viandes de monogastriques (porcs et volailles), de ruminants (bovins, ovins), chair des poissons d'élevage, lait (de vache, de chèvre et de brebis), œufs de poule et les produits transformés qui en sont issus, qu'ils soient 'standards' ou sous signes officiels d'identification
de la qualité et de l'origine (SIQO).
Les procédés de transformation ont pour but de stabiliser les aliments d'un point de vue sanitaire, d'augmenter la durée de conservation, de valoriser les morceaux les moins nobles et/ou les moins demandés, de diversifier l'offre et/ou de proposer des aliments prêts à consommer, faciles à cuisiner et à conserver.

Le salage, la cuisson, le séchage, le fumage et la fermentation sont les procédés les plus fréquemment utilisés, ils utilisent généralement du sel et des additifs alimentaires, dont le nombre a fortement augmenté depuis l'industrialisation et l'intensification de la transformation agro-alimentaire.

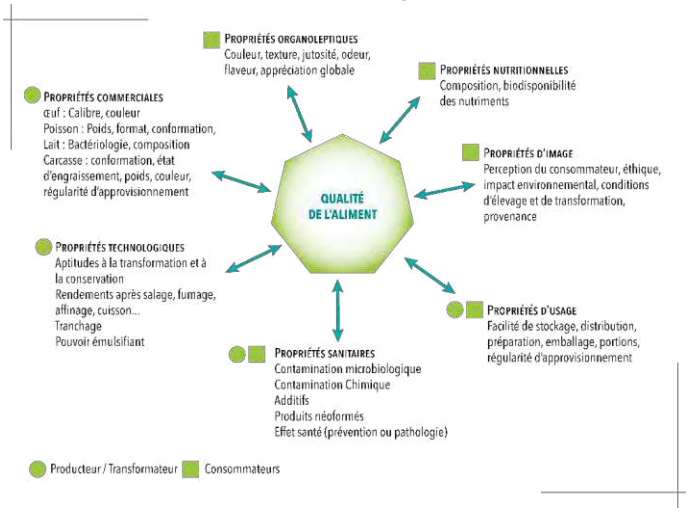



**Figure 1.** Les 7 dimensions de la qualité des aliments d'origine animale

Cette expertise s'est également attachée à comprendre les comportements des consommateurs. Le statut d'omnivore des humains leur confère à la fois une grande liberté d'adaptation à différents biotopes, mais les expose également à des risques de contamination, ce qui les contraint à consommer des aliments reconnus culturellement. Les consommateurs oscillent donc entre plaisir et anxiété pour élaborer leurs choix alimentaires, et les régimes alimentaires sont profondément ancrés culturellement (Danezis et al., 2016). L'authentification des conditions d'élevage et de transformation est une voie de réassurance des consommateurs. Les demandes des consommateurs et l'engagement de certaines filières dans des mentions valorisantes, la complexité de la chaîne d'élaboration des aliments et les risques de fraude renforcent l'importance de ces questions (Danezis et al., 2016). Cette synthèse présente aussi les besoins de recherche et des pistes d'action publique. Elle a fait l'objet d'une publication antérieure en anglais (Prache et al., 2022a) que nous avons résumée ici.

## 1. EVOLUTION DES HABITUDES ALIMENTAIRES ET DES ATTENTES SOCIETALES EN EUROPE

En Europe, la consommation de viandes, de produits laitiers, d'œufs et de poissons stagne ou baisse, sauf pour la viande de volaille (Prache et al., 2022a ; Figure 2). Elle a chuté de plus de 40 % pour les viandes bovines et ovines ces 30 dernières années, au profit de la viande de volailles, dont la consommation a augmenté de 60 % sur la même période. La viande porcine est la principale viande consommée (35 kg équivalent carcasse/personne/an).

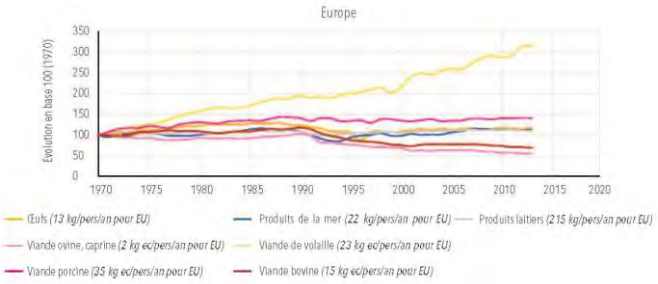



**Figure 2**. Evolution de la consommation d'aliments d'origine animale en Europe entre 1970 et 2013, en kg/personne/an (base 100 = 1970).

En France, les tendances de consommation montrent deux évolutions concomitantes. La demande augmente pour les aliments « prêts à l'emploi » (plats préparés, à emporter…), et aussi pour les aliments issus de l'agriculture biologique (AB), et au-delà pour les aliments bénéficiant d'un SIQO. La part des achats alimentaires en AB a ainsi doublé entre 2015 et 2020 en France (passant de 3,2 % à 6,6 %) ; elle a cependant connu un pallier entre 2020 et 2021, particulièrement dans la grande distribution et pour les produits laitiers (Agence Bio, 2022). Ces deux tendances concernent l'ensemble des filières animales, mais à des degrés divers. En France, l'évolution des comportements de consommation entre 2007 et 2015 montre ainsi une augmentation de 40 % de la consommation de plats préparés à base de viande et de poisson et de 53 % des aliments contenant des "ingrédients" de viande et de poisson (pizzas, quiches, sandwichs) (Pointereau, 2019). Pour la viande de poulet, la part des achats de produits prêts à consommer à base de poulet (nuggets, panés…) a doublé en 20 ans et représente aujourd'hui 31 % de la viande de poulet consommée, alors que la part des achats de poulets entiers a été divisée par plus de 2 (de 52 % à 24 %) (Baéza et al., 2022). Parallèlement, la demande croissante de produits sous SIQO et/ou vendus en circuits courts, constitue une voie de réassurance. Ces produits sont en effet porteurs de crédibilité et de fiabilité concernant l'origine et les conditions de production et de transformation, malgré leur prix généralement supérieur à celui des produits standards. On observe également, à l'échelle européenne, une évolution vers plus d'aliments d'origine végétale et moins d'aliments d'origine animale, dynamique portée à la fois par les mouvements autour du végétarisme, du véganisme et du bien-être animal (Lund et al., 2016) et par les discours autour d'une alimentation plus durable (FranceAgriMer, 2019 et 2021). S'il n'existe pas de définition précise des régimes dits "flexitariens" (FranceAgriMer, 2019 et 2021), leur couverture médiatique est le signe d'une transition alimentaire vers des régimes plus végétalisés Ces évolutions rapides invitent à mieux anticiper les besoins et motivations des consommateurs et à instruire des solutions appropriées, voire de rupture, dans les pratiques d'élevage et les procédés de transformation des aliments. Par exemple, les débats autour de la consommation d'aliments d'origine animale sont à l'origine d'études sur des sources de protéines alternatives et leur acceptabilité sociale (protéines végétales ou alternatives plus radicales). Des recherches prospectives sur la "viande" de culture ou sur les aliments à base d'insectes montrent i) que la viande issue d'animaux d'élevage demeure profondément inscrite dans nos habitudes alimentaires et que ii) les nouveaux aliments doivent soit ressembler à de la viande, soit s'éloigner d'une origine animale. Manger ou non de la viande est un marqueur social. Dans les classes de statut socio-économique supérieur, la valeur de la viande a été modifiée par des questions d'éthique, d'impacts environnementaux et de santé, ces consommateurs choisissant de consommer moins de viande et de meilleure qualité. En revanche, les classes de statut socio-économique inférieur mangent plus de viande grâce à une gamme d'aliments bon marché mais de moindre qualité nutritionnelle. A noter que la taxation de la viande, parfois proposée pour en réduire la consommation et les impacts environnementaux, toucherait donc plus ces classes de population (Springmann et al., 2018). Des recherches sont nécessaires pour comprendre les leviers et les freins aux pratiques de substitution entre aliments dans différentes classes de population, les facteurs déclenchants de cette adoption au niveau individuel, et les modalités de transition d'un régime alimentaire à un autre.

## 2. LES DIMENSIONS DE LA QUALITE ET LES METHODES POUR LES EVALUER

Les **propriétés sanitaires** d'un aliment sont relatives aux dangers associés à sa consommation. Elles sont des prérequis du fait du caractère périssable des aliments d'origine animale, et elles font l'objet d'une réglementation précise (Guillier et al., 2016). Quel que soit le type d'aliment, les opérateurs qui le produisent, le transforment et le distribuent sont légalement responsables en matière de sécurité sanitaire ; il leur revient d'analyser et de maîtriser les risques en mettant en place des mesures de contrôle. Si la composition des produits bruts est bien documentée, les connaissances sur les composés qui se forment au cours des processus de transformation (composés néoformés) et l'évaluation des risques associés sont limitées.

Les **caractéristiques commerciales** sont à la base du paiement aux éleveurs et intéressent particulièrement les professionnels des filières animales. Elles dépendent du type de produit. Pour le lait, au-delà du volume livré, elles sont basées sur des critères sanitaires et de composition. Pour les autres produits animaux, elles reposent sur des critères de poids et d'aspect, voire d'homogénéité du lot. Actuellement en Europe, les carcasses de bovins, d'ovins et de porcins sont évaluées à partir de leur poids et de leur classement selon le système EUROP fondé sur la conformation et l'état d'engraissement (pour les bovins et les ovins) et la teneur en viande maigre pour les porcs. D'autres systèmes de classement sont utilisés pour la viande bovine aux États-Unis, au Japon et en Australie, qui intègrent des critères de qualité de la viande (couleur, persillé). Le « Meat Standards Australia » (MSA), notamment, prédit la qualité en bouche pour chaque combinaison muscle-méthode de cuisson, à partir d'une douzaine de paramètres, la plupart mesurés à l'abattoir, et il indexe le paiement aux éleveurs sur ce résultat de qualité en bouche (Bonny et al., 2018).

Les **propriétés organoleptiques** correspondent aux caractéristiques perçues par les sens : la couleur, la texture (tendreté et jutosité), l'odeur et la flaveur. Elles intéressent particulièrement les consommateurs et affectent l'acte d'achat (et de réachat). Leur évaluation se heurte à des difficultés méthodologiques, avec i) un débat sur l'utilisation de jurys entraînés ou de consommateurs "naïfs", dont les résultats ne sont pas toujours concordants (Hocquette et al., 2020), ii) la complexité des déterminants de la texture, de l'odeur et de la flaveur qui peut rendre fragile l'utilisation d'indicateurs (Aberle et al., 2012), iii) le manque de méthodes prédictives robustes utilisables sur une chaîne d'abattage (Berri et al., 2019). La variabilité des préférences entre pays/régions et entre consommateurs, liée à des habitudes alimentaires ou culturelles (Font-i-Furnols et al., 2014), questionne aussi l'extrapolation des résultats d'une zone géographique à une autre.

Les **propriétés nutritionnelles** d'un aliment sont évaluées sur la base de sa composition en nutriments (protéines, lipides, glucides, vitamines, minéraux) et de sa capacité à couvrir les besoins nutritionnels de l'homme. De même que les vitamines et minéraux, certains acides aminés constitutifs des protéines et certains acides gras (AG) de la fraction lipidique (acide linoléique (LA), acide alpha-linolénique (ALA) et acide docosahexaénoïque (DHA)) sont considérés comme indispensables, car ils ne peuvent être synthétisés par le corps humain, ou en quantité insuffisante, et doivent donc être apportés par l'alimentation. Pour les protéines, des scores de qualité nutritionnelle ont ainsi été développés à partir de leur capacité à couvrir l'ensemble des besoins en acides aminés indispensables. Certains nutriments, s'ils sont ingérés en excès, peuvent avoir des effets néfastes sur la santé, comme les acides gras saturés (AGS) athérogènes, pour lesquels une limite supérieure a été fixée. Les aliments qui sont riches en nutriments indispensables comparativement à leur apport calorique, et contenant des quantités modérées de nutriments à limiter (AGS, sodium, sucres) favorisent un bon état de santé. Des indicateurs nutritionnels, comme le Nutri-Score ont ainsi été développés en France pour classer les aliments en fonction de l'équilibre de leur composition en nutriments bénéfiques ou à limiter. La biodisponibilité des nutriments est également un facteur important, ainsi que l'effet de la matrice alimentaire.

Les **propriétés technologiques** reflètent l'aptitude de la matière première à la transformation (rendement après salage, fumage, affinage, cuisson, par ex.) et à la conservation, en lien avec sa composition (sensibilité à l'oxydation et au développement de microorganismes) et les modalités de conservation (durée, température, conditionnement, type d'emballage). Les critères et indicateurs d'évaluation varient selon le type d'aliment et le type de transformation (fromage au lait cru *vs* lait UHT, jambon cuit *vs* saucisson, par ex.). Certains indicateurs physico-chimiques permettent de prédire ces propriétés (pH de la viande, par ex., Aberle et al., 2012), mais ceci reste difficile (Berri et al., 2019).

Les **propriétés d'usage** renvoient à la facilité de consommer l'aliment (économie de temps et d'efforts). Elles sont appréciées par le biais d'enquêtes. Cependant, même si ces propriétés prennent de l'importance avec le développement des produits transformés « prêts à manger », les méthodes d'évaluation sont encore peu formalisées.

Les **propriétés d'image** recouvrent les dimensions éthiques, culturelles et environnementales associées à l'origine de l'aliment et à ses conditions de production et de transformation. Elles jouent un rôle important dans la perception du produit et sont particulièrement valorisées dans les produits sous SIQO. Elles peuvent interagir fortement avec les autres dimensions de la qualité, les consommateurs pouvant percevoir un écart de qualité lorsqu'ils sont informés de l'origine du produit et des conditions de production et de transformation, alors qu'ils ne verraient sinon pas nécessairement de différences. Cette dimension prend beaucoup d'importance dans la décision d'achat (Aboah et Lees, 2020). De nombreux facteurs peuvent jouer un rôle et, logiquement, de nombreuses méthodes, critères et indicateurs ont été développés pour les évaluer. Les aspects environnementaux recouvrent plusieurs aspects (émissions polluantes, utilisation de ressources, biodiversité). On considère généralement que les impacts environnementaux sont plus importants dans les aliments d'origine animale que dans ceux d'origine végétale, et qu'ils varient beaucoup d'un système d'élevage à l'autre. Cependant, le classement des systèmes d'élevage dépend largement du type d'impact et de la métrique choisie. Ainsi, des études récentes proposent de modifier l'unité fonctionnelle (actuellement la masse ou le volume de produit) sur laquelle reposent les indicateurs environnementaux pour tenir compte de la valeur nutritionnelle du produit, comme la teneur en AGPI n-3 (McAuliffe et al., 2018). En outre, Van der Werf et al. (2020) soulignent que l'ACV, la méthode la plus utilisée aujourd'hui pour évaluer les impacts environnementaux, ne tient pas compte d'aspects essentiels comme la perte de biodiversité, la dégradation des sols et les impacts des pesticides, ni des services écosystémiques rendus par certains systèmes d'élevage. Pour ce qui concerne le BEA, des recherches ont permis de développer des référentiels pour l'évaluer dans les différentes filières d'élevage. Ainsi, l'intégration d'indicateurs de nature différente, leur agrégation, et la métrique sous-jacente sont actuellement un front de science d'autant plus important que les pouvoirs publics cherchent à mieux informer les consommateurs sur les empreintes environnementale et sociétale des aliments.

Des résultats récents issus de consultations de groupes d'acteurs dans 4 pays européens montrent que les propriétés d'image (origine, système d'élevage, bien-être animal, etc.) sont particulièrement importantes pour les consommateurs de produits laitiers et de viande bovine et de volaille (Sturaro et al., 2022). Une autre étude centrée sur les produits laitiers montre que les autres acteurs de la filière bovine laitière en France (producteurs, entreprises laitières, distribution) ont des attentes plus diversifiées quant aux propriétés organoleptiques, technologiques, sanitaires, nutritionnelles et d'image (Albert et al., 2022).

Il existe une grande diversité de méthodes pour évaluer la qualité intrinsèque des aliments. Nombre d'entre elles nécessitent d'effectuer des prélèvements destructifs qui ne peuvent être réalisés que tardivement dans la chaîne d'élaboration, et d'utiliser des analyses longues et onéreuses. Les scientifiques travaillent au développement d'outils moins invasifs pour caractériser et prédire la qualité des aliments (ou de la matière première pour la transformation). Ces développements pourraient permettre de mieux gérer la variabilité de la qualité, en permettant d'orienter l'aliment vers différents segments de marché et la matière première vers les procédés de transformation les plus adaptés, ainsi qu'authentifier les conditions d'élaboration de l'aliment. À l'instar des analyses rapides utilisées pour le paiement du lait à la qualité, le développement et le déploiement *on line* de méthodes spectrales (SPIR) et d'analyse d'image pourraient permettre d'élargir les dimensions de qualité évaluées pour les viandes et les poissons, comme la teneur en lipides, le persillé, le profil en AG ou la capacité de rétention d'eau (Mourot et al., 2014 ; Berri et al., 2019 ; Meunier et al., 2021). Des recherches s'intéressent aussi à caractériser le potentiel de qualité du vivant de l'animal (Boudon et al., 2020) ou à détecter précocement les défauts pour orienter les viandes de moindre qualité vers des filières de transformation appropriées, voire réajuster les pratiques d'élevage. Un marqueur sanguin est ainsi en cours de développement pour détecter les porcs susceptibles de produire une viande déstructurée (Théron et al., 2020). Différentes démarches sont ainsi menées pour développer des outils prédictifs basés sur plusieurs types de marqueurs, biologiques (génomiques ou phénotypiques) (Picard et al., 2015), physiques (méthodes spectroscopiques), ou pour développer des bases de données reliant les propriétés organoleptiques de la viande avec certaines caractéristiques de l'animal, de la carcasse et de la viande en interaction avec les modalités de transformation (cuisson) (Bonny et al., 2018).

## 3. CONSTRUCTION OU ALTERATION DE LA QUALITE AU COURS DE L'ELABORATION DE L'ALIMENT

De nombreux facteurs influencent chacune des dimensions de la qualité, et un facteur donné peut jouer sur plusieurs d'entre elles (Tableau 1). Compte tenu de la multiplicité des facteurs, des combinaisons entre eux et de leurs interactions potentielles, on peut dire que "la qualité s'élabore" tout au long

de la production et de la transformation. Ces facteurs agissent aux différentes étapes : depuis les caractéristiques des animaux, les conditions d'élevage, de transport, d'abattage, de transformation, de conservation, de commercialisation, jusqu'à la préparation des aliments et leur consommation. La qualité s'élabore ainsi depuis les étapes amont à la ferme (parfois même avant la naissance de l'animal) jusqu'à la consommation, et elle peut être améliorée ou altérée à toutes les étapes. La littérature est abondante, mais il y aurait besoin de méta-analyses pour gagner en robustesse dans l'évaluation des effets des facteurs déterminants. Certaines étapes sont cruciales ; elles peuvent présenter un risque d'altération ou au contraire une opportunité d'amélioration ou de correction de la qualité.

| Facteurs/étapes | | Propriétés | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Commerciales | Technologiques | Organoleptiques | Sanitaires | Nutritionnelles | Usage | Image |
| Caractéristiques de l'animal | Santé de la mère | | | | | | | |
| | Génétique, race, souche | | | | | | | |
| | Type sexuel | | | | | | | |
| Pratiques d'élevage | Localisation de la ferme | | | | | | | |
| | Habitat des animaux | | | | | | | |
| | Hygiène | | | | | | | |
| | Bien-être, mutilation, castration | | | | | | | |
| | Densité des animaux | | | | | | | |
| | Alimentation des animaux | | | | | | | |
| | Médication (antibiotiques) | | | | | | | |
| | Âge de l'animal /âge à l'abattage | | | | | | | |
| | Stade physiologique (lait) | | | | | | | |
| Collecte, transport abattage | Collecte, transport | | | | | | | |
| | Pré-abattage, abattage (viandes, chair de poisson) | | | | | | | |
| Transformation de la matière première | Modes de conservation | | | | | | | |
| | Fractionnement | | | | | | | |
| | Modalités de cuisson | | | | | | | |
| | Salage, fumage, fermentation | | | | | | | |
| | Formulation (dont additifs) | | | | | | | |
| Distribution | Conditionnement, portion | | | | | | | |
| | Commercialisation | | | | | | | |
| Préparation domestique | Conservation (chaine froid) | | | | | | | |
| | Modalités de cuisson | | | | | | | |

**Tableau 1**. Facteurs intervenant sur les différentes dimensions de la qualité des aliments d'origine animale. Le tableau indique les possibles sources de variation. Certaines lignes concernent uniquement certains produits (abattage : viandes et chair de poisson). Couleur foncée : facteur de variation majeur ; couleur claire : facteur de variation modéré, couleur blanche : n'est pas un facteur de variation.

Les **propriétés sanitaires** d'un aliment dépendent de facteurs d'élevage (milieu de vie et alimentation), de facteurs liés à la transformation (procédés de transformation et de conditionnement, formulation) et de facteurs liés aux pratiques de consommation (conservation et préparation culinaire), qui peuvent être sources de contamination de l'animal, de ses produits et, au final de l'aliment. Les viandes, les œufs et les préparations à base de viande ou d'œufs crues ou peu cuites, et les produits de la pêche totalisent 70 % des toxiinfections alimentaires collectives provoquées par des pathogènes officiellement déclarées sur la période 2006-2015 en France (Anses, 2018). Quant aux polluants chimiques, les aliments d'origine animale sont les plus forts contributeurs en polluants organiques persistants (POP) comme les dioxines, les furanes et les polychlorobiphényles (PCB) dans l'alimentation humaine. L'utilisation des antibiotiques pose la double question des résidus dans les aliments et de l'antibiorésistance. Le non-respect des règles de leur utilisation peut conduire à la présence de résidus dans les aliments au-delà de la limite maximale de résidus fixée réglementairement, mais les plans de contrôle officiels montrent que les non-conformités sont rares. Peu de travaux de recherche fournissent cependant des données sur les résidus médicamenteux ou d'autres contaminants chimiques dans les aliments d'origine animale. L'effet de la transformation sur les risques chimiques est également encore peu documenté, et l'échelle domestique, bien que potentiellement concernée, a rarement été étudiée. On connaît peu également la toxicité et le niveau d'exposition aux composés néoformés lors de la cuisson et du fumage, de même que l'effet cocktail des interactions entre contaminants chimiques (Meurillon et al., 2018). Cet effet cocktail est pointé du doigt dans les risques liés à la migration de molécules depuis les matériaux d'emballage en contact avec les aliments, de même que pour les additifs utilisés dans la formulation des aliments.

**Les pratiques d'élevage** sont particulièrement importantes pour certaines dimensions de la qualité, notamment l'image. Les travaux montrent, qu'en moyenne, les consommateurs ont une attitude positive à l'égard des systèmes d'élevage plus respectueux du BEA, avec un accès des animaux à l'extérieur et un espace suffisant, et qu'ils sont prêts à payer un prix plus élevé pour les produits issus de ces systèmes (Janssen et al., 2016). Les pratiques d'élevage influencent également les propriétés sanitaires. Les élevages en bâtiments où la densité est élevée sont plus exposés aux maladies contagieuses, à la pollution ambiante et aux contaminants chimiques éventuellement présents dans les rations. Les élevages avec accès au plein air sont plus exposés aux parasites et aux contaminants environnementaux (Dervilly-Pinel et al., 2017 ; Pussemier et al., 2004), ce qui justifierait de réaliser un diagnostic de l'environnement avant l'installation d'un élevage.

**L'alimentation** des animaux est un facteur déterminant de la qualité des aliments d'origine animale, notamment du fait de son rôle dans la teneur en lipides et la qualité des AG déposés, qui modulent les propriétés nutritionnelles et organoleptiques des aliments. Le régime alimentaire occidental est très déficitaire en AGPI n-3, à la fois en leur précurseur, l'ALA et en ses dérivés à longue chaîne (LC), cette insuffisance contribuant à nombre de maladies chroniques. Un intérêt particulier est donc porté à cette famille d'AG par les filières animales, près de 60% des AGPI n-3 dans notre alimentation étant apportés par les produits animaux. Le lien entre les AG ingérés et ceux qui sont déposés dans les tissus est particulièrement fort pour les monogastriques et les poissons, moins pour les ruminants en raison des transformations de certains AG dans le rumen. Les AG sécrétés dans le lait sont également modulés par la synthèse *de novo* mammaire. La chair des poissons gras est très riche en AGPI n-3 LC, en lien avec l'origine marine classique de leur alimentation. L'herbe verte est riche en AGPI n-3 et en antioxydants et permet d'obtenir naturellement des produits plus riches en AGPI n-3 et en antioxydants, à la fois pour les ruminants (Berthelot et Gruffat, 2018 ; Martin et al., 2019 ; Davis et al., 2022), le porc (Lebret et Čandek-Potokar, 2022a) et les œufs (Mugnai et al., 2014). La viande bovine produite à l'herbe présente ainsi des teneurs environ deux fois plus élevés en AGPI n-3, des teneurs réduites (-21 %) en acide palmitique (proathérogène) et des teneurs plus élevées en CLA (Berthelot et Gruffat, 2018 ; Davis et al., 2022) que la viande issue d'animaux nourris avec des régimes riches en concentrés ; la finition en bâtiments diminue ces bénéfices et peut même les éliminer complètement (Ponnampalam et al., 2006). Ces avantages sur les propriétés nutritionnelles s'accompagnent d'avantages quant aux propriétés organoleptiques (flaveur plus intense, produits plus typés) et d'image (accès des animaux au plein air et alimentation à l'herbe). Ces propriétés sont souvent valorisées dans des SIQO qui s'engagent sur l'alimentation à l'herbe des animaux, ce qui conduit à des travaux cherchant à l'authentifier sur le produit final (Prache et al., 2020b). Ces synergies sont encore accrues avec des prairies diversifiées et/ou de montagne (Martin et al., 2019). Des mentions "produit à l'herbe" existent dans plusieurs pays (Salami et al., 2019 ; Davis et al., 2022). La teneur en AGPI n-3 des produits peut également être augmentée par l'apport alimentaire d'ingrédients riches en AGPI n-3, comme les graines de lin (pour les ruminants et les monogastriques) ou la farine de poissons d'origine marine (pour les poissons). Cependant, comme cet ajout peut avoir des effets négatifs sur les propriétés organoleptiques (rancissement) et d'usage (durée de conservation), il doit être limité et associé à des antioxydants ; des études s'intéressent ainsi à l'utilisation des

antioxydants d'origine végétale (phyto-micronutriments, par ex.) pour protéger les AG insaturés de la peroxydation (Salami et al., 2019). Les animaux d'élevage valorisent depuis longtemps des co-produits de l'agriculture et de l'industrie agroalimentaire, ce qui permet de limiter la compétition "feed-food". Cette valorisation se développe et se diversifie. L'utilisation de coproduits végétaux riches en composés bioactifs (vitamines, AG insaturés, composés phénoliques, tannins et flavonoïdes) peut présenter un intérêt pour la qualité de la viande et des produits carnés tout en réduisant les émissions de méthane entérique et d'azote (Salami et al., 2019), mais leurs effets sont encore peu documentés. Un point de vigilance concerne les dimensions sanitaires, car des végétaux contaminés peuvent transférer des agents pathogènes et des contaminants à leurs coproduits. La disponibilité de ces coproduits peut également être un point limitant. De manière générale, l'ajout de nouveaux ingrédients dans les aliments pour animaux (dérivés d'insectes, par ex.) nécessitera d'évaluer les possibles impacts sur les différentes dimensions de la qualité des produits issus des animaux qui les consomment.

Les phases de **pré-abattage et d'abattage** sont à risque pour la qualité des viandes et de la chair de poisson. Des conditions inadéquates de chargement, de transport et/ou d'abattage génèrent un stress qui peut compromettre les dimensions organoleptiques (tendreté, couleur) et technologiques (rendement à la cuisson) du produit (Terlouw et al., 2021). Le BEA, en particulier pendant le transport et à l'abattoir, influence aussi la qualité d'image. Des pratiques d'éviscération non conformes peuvent compromettre la qualité sanitaire. L'abattage à la ferme évite le transport des animaux et vise à préserver leur bien-être ; il peut aussi faciliter la commercialisation des produits carnés en circuits courts. Cependant, peu de travaux ont été identifiés dans la littérature scientifique (Eriksen et al., 2013). Les abattoirs mobiles et autres modules d'abattage doivent répondre aux mêmes exigences règlementaires d'hygiène et de protection animale que les abattoirs fixes. Des projets scientifiques démarrent en France en vue d'évaluer i) la faisabilité technique et la viabilité économique de ce mode d'abattage, en particulier dans les zones d'élevage dépourvues d'abattoirs conventionnels, et ii) sa perception par les acteurs de la filière et les consommateurs. Néanmoins, des travaux supplémentaires devront être entrepris pour bien identifier et caractériser les risques en termes d'hygiène des procédés et de BEA. Bien que la gestion des sous-produits, des déchets et des effluents issus de l'abattage soit déjà prévue dans la perspective de l'abattage alternatif, une attention particulière devra être apportée au respect des règles d'hygiène et sécurité et à la protection de l'environnement.

Pour la viande, la **cuisson** est une phase clé. Elle est essentielle pour contrôler les risques microbiologiques, pour augmenter la digestibilité des protéines, ainsi que pour la flaveur et la texture. L'effet de la température de cuisson sur la vitesse de digestion suit une courbe en cloche avec un maximum pour une température à cœur de 70-75°C (Bax et al., 2012). Cependant, la cuisson à des températures excessives peut dégrader les propriétés organoleptiques et nutritionnelles, voire compromettre les propriétés sanitaires du fait de composés néoformés (hydrocarbures aromatiques et amines aromatiques hétérocycliques, tous deux cancérigènes) (Kondjoyan et al., 2016).

**L'industrialisation des procédés de transformation a entraîné une standardisation de la matière première** fournie à l'industrie. Les procédés industriels de cuisson, salage, fumage, fermentation, etc., sont la plupart du temps issus de techniques traditionnelles. L'industrialisation a permis, dans certains secteurs (produits laitiers, œufs), le fractionnement/cracking de la matière première en ingrédients qui peuvent être ensuite assemblés dans une vaste gamme de formulations pour accroître l'offre alimentaire. L'ajout d'additifs permet de moduler certaines dimensions de la qualité : renforcer le goût (exhausteurs de goût, comme le sel et le sucre), rectifier les défauts (arômes) ou allonger et sécuriser la conservation (ex : sels nitrités). Cependant, cette orientation a poussé à standardiser la matière première et à réduire la biodiversité des animaux d'élevage et la diversité des pratiques d'élevage.

Par ailleurs, la diversité des produits transformés amène à s'interroger sur la manière de les classer. Il y a actuellement plusieurs systèmes de classement développés en parallèle. Le Nutri-Score classe les aliments transformés selon leur composition nutritionnelle. Le système Nova met en exergue les aliments ultra-transformés (Monteiro et al., 2018) dont la formulation contient des ingrédients ou additifs typiques de la transformation industrielle, selon un classement qui ne fait pas consensus (Braesco et al., 2022). Ces classements ne sont d'ailleurs pas toujours cohérents entre eux, ils utilisent des critères différents (Prache et al., 2020a, 2022a). Ceci souligne le besoin de développer des méthodes de classement des aliments qui soient robustes et reproductibles, et qui intègrent des critères liés à la transformation. Certains systèmes sont déjà utilisés pour orienter le choix des consommateurs, par notamment des applications sur smartphones.

Concernant les outils d**'authentification,** l'accent est surtout mis sur l'authentification des pratiques d'élevage et de l'origine, plus que sur les conditions de transformation et de conservation des aliments. Les méthodes de contrôle de la non-adultération de l'espèce animale sont déjà opérationnelles. Cependant, beaucoup de travaux en sont encore au stade de la 'preuve de concept', car ils s'appuient sur des situations contrastées afin de tester les méthodes et les améliorer. Il est maintenant nécessaire de tester la fiabilité de ces méthodes dans des conditions moins contrastées et de développer des bases de données plus importantes pour passer au stade opérationnel.

## 4. DES ANTAGONISMES ET DES SYNERGIES

L'un des enseignements de cette expertise est le constat de **primauté accordée aux dimensions commerciales de la qualité**, notamment pour les produits standard. Ce sont par exemple les caractéristiques des carcasses qui dictent le prix payé aux éleveurs producteurs de viande. Cette priorité a fortement orienté la sélection génétique et les pratiques d'élevage et a accru la spécialisation des animaux. Elle a permis des gains considérables de teneur en maigre des carcasses de porc (Lebret et Čandek-Potokar, 2022a), du poids du filet chez le poulet de chair (Baéza et al., 2022) et du poids de la carcasse des vaches de réforme. Cependant, ces dimensions "quantitatives" ne préjugent pas d'autres dimensions importantes de la qualité, telles que les dimensions organoleptiques et nutritionnelles. Bonny et al. (2016) ont ainsi montré qu'il n'y avait pas de lien entre les caractéristiques commerciales des carcasses bovines et la qualité organoleptique de la viande. Ces gains "quantitatifs" ont même parfois été obtenus au détriment d'autres dimensions de la qualité. Un exemple emblématique est le poulet de chair standard, où la sélection sur le rendement en filet a eu des conséquences délétères sur les dimensions nutritionnelles, organoleptiques et technologiques d'une majorité de filets ; les animaux ont également des difficultés à se mouvoir et présentent une forte prévalence de myopathies (Baéza et al., 2022). La déstructuration des tissus musculaires oblige à valoriser cette viande à défauts dans des plats préparés (Baéza et al., 2022). Des problèmes de déstructuration du tissu musculaire sont aussi observés chez le porc, sources de gaspillages et de pertes économiques importantes lors du tranchage (Theron et al., 2019). Pour la viande bovine également, la sélection des races à viande sur le développement musculaire et l'efficacité alimentaire a conduit à une diminution du persillé, de la flaveur et de la jutosité (Bonny et al., 2018). Par ailleurs, cette orientation vers des animaux plus tardifs rend plus difficile l'adoption des

pratiques plus agroécologiques, comme la finition à l'herbe, pourtant favorable aux dimensions nutritionnelles et d'image de la viande (Berthelot et Gruffat, 2018 ; Davis et al., 2022). Enfin, la spécialisation des animaux peut conduire à des impasses, en excluant ou en dévalorisant une partie des animaux, comme les poussins mâles dans la filière poules pondeuses (Gautron et al., 2021) et une partie des chevreaux et veaux mâles dans certaines filières laitières (Prache et al., 2022a). Un problème éthique majeur est l'élimination des poussins mâles à la naissance ; la pression sociétale a incité la France et l'Allemagne à l'interdire (en 2022). Dans la filière caprine, une partie des chevreaux mâles ne trouve pas non plus de débouchés dans la chaîne alimentaire humaine.
Des recherches s'intéressent à faire évoluer cette orientation en intégrant mieux d'autres dimensions de la qualité dans le paiement aux éleveurs et l'information aux consommateurs. On peut citer la méthode MSA, développée en Australie pour prédire la qualité en bouche de la viande bovine (et payer les éleveurs en fonction), et actuellement testée en Europe (Bonny et al., 2018). Par ailleurs, il y a besoin d'instruire des solutions permettant de maintenir tous les animaux dans la chaîne alimentaire. Il peut s'agir, par exemple, de revenir à une certaine mixité dans les fonctions productives de l'animal, offrant un bon compromis entre la production de viande et d'œufs (utilisation de lignées à double finalité dans la filière œufs, Gautron et al., 2021) ou de lait et de viande (race ovine Lacaune, par exemple), du croisement de races ou de souches, et du développement de mentions valorisantes et/ou de circuits courts. Enfin, des méthodes de sexage *in ovo*, utilisant l'analyse spectrale ou la mesure d'hormones et de métabolites dans l'œuf ont été développées ou sont en cours de développement auprès des couvoirs (Gautron et al., 2021).

D'autres antagonismes (et aussi de possibles synergies) entre les différentes dimensions de la qualité et entre étapes d'élaboration de l'aliment ont été identifiés. Une pratique d'élevage peut ainsi avoir des effets positifs sur certaines dimensions de la qualité, mais négatifs sur d'autres.
**Ne pas castrer les porcelets mâles** est favorable à l'image (BEA, moindres rejets azotés) et aux caractéristiques commerciales (teneur plus élevée en viande maigre, coûts de production plus faibles), mais peut être défavorable aux dimensions organoleptiques (risque d'odeurs indésirables dues à la présence d'androsténone et/ou de scatol dans les tissus gras) et à certains critères d'image (plus grande agressivité des mâles entiers) (Lebret et Candek-Potokar, 2022a). Les moyens d'action pour réduire le risque d'odeurs associées à l'androsténone sont la sélection génétique et la réduction du poids et de l'âge à l'abattage. Les conditions d'élevage (hygiène des sols, ventilation, température, alimentation) constituent, quant à elles, des leviers efficaces pour réduire la teneur en scatol. Cependant, ces leviers ne suffisent pas pour garantir l'absence de risque. Les recherches s'orientent vers la détection des défauts sur la chaîne d'abattage afin d'orienter la viande vers la transformation la plus appropriée et la sélection génétique pour réduire la teneur en androsténone sans compromettre les autres caractères de production ou de reproduction (Lebret et Candek-Potokar, 2022a).
**Pour la viande ovine, l'élevage à l'herbe** est favorable aux dimensions nutritionnelles et d'image, mais peut être défavorable à certaines dimensions organoleptiques (risque de flaveurs indésirables, couleur plus sombre) et commerciales (risque d'état d'engraissement insuffisant) (Prache et al., 2022b). Ces antagonismes sont encore plus marqués en agriculture biologique (Prache et al., 2022c). Un compromis peut être trouvé en terminant l'engraissement de l'agneau en bergerie pendant une courte durée, car le scatol a une faible persistance dans les tissus et une courte durée d'alimentation avec des concentrés ne dégrade pas trop le profil en AG de la viande (Eiras et al., 2022), ou en complémentant les agneaux d'herbe avec des céréales. L'utilisation de compléments riches en tannins condensés est, elle, une solution gagnant-gagnant pour les dimensions nutritionnelles et organoleptiques (Prache et al., 2022). Une autre possibilité serait de mieux sensibiliser les consommateurs aux caractéristiques de la viande d'agneau d'herbe.

**En aquaculture**, l'alimentation des poissons est habituellement d'origine marine, mais repose de plus en plus sur des ingrédients d'origine végétale. Cette substitution favorise les dimensions d'image (moindre impact sur une ressource sauvage) et sanitaires (moins de risque de contaminations liées aux farines et huiles de poissons), mais elle dégrade les propriétés nutritionnelles (diminution des teneurs de la chair en AGPI n-3 LC) et commerciales (baisse du rendement de découpe en lien avec une adiposité accrue) (Le Boucher et al., 2013). Le profil en AG peut être restauré par un retour à une alimentation d'origine marine en finition avant l'abattage.
Certaines productions mettent à profit des synergies entre différentes dimensions de la qualité et entre étapes d'élaboration. Le jambon sec en est un bon exemple, sa qualité dépendant fortement à la fois de la qualité de la matière première et des conditions et de la durée de la transformation (salage, séchage, maturation) (Lebret et Čandek-Potokar, 2022b). L'élevage extensif, avec des races ou lignées spécifiques incluant la consommation de ressources locales, permet d'optimiser les propriétés de la matière première : forte accrétion lipidique, couleur plus sombre, arômes typés. Ces jambons sont alors plus gras (gras intramusculaire et de couverture), et mieux adaptés au séchage, ils ont donc des propriétés technologiques renforcées, et en même temps sont dotés de propriétés organoleptiques très spécifiques. Ces synergies sont encore plus fortes avec des races locales et des animaux plus âgés (Pugliese et Sirtori, 2012). A noter que dans les systèmes extensifs, la consommation par les porcs de ressources naturelles riches à la fois en AGPI n-3 et en antioxydants permet d'enrichir naturellement la viande en AGPI n-3 sans oxydation excessive, et ainsi d'éviter de possibles antagonismes dans les propriétés nutritionnelles (Lebret et Čandek-Potokar, 2022b). D'autres produits, comme le fromage, montrent de fortes interactions entre les étapes de production et de transformation, des conditions de transformation plus douces (absence de standardisation et de traitements thermiques) permettant aux propriétés organoleptiques du fromage de mieux refléter les conditions de production du lait. Par exemple, l'effet de l'alimentation des animaux sur la flaveur du fromage est plus important lorsque celui-ci est fabriqué avec du lait cru qu'avec du lait pasteurisé (Fretin et al., 2016) et un temps d'affinage plus long accentue les effets des conditions de production du lait (Coppa et al., 2011).

**L'existence d'antagonismes conduit à la recherche de solutions pour aider à les gérer**. Ces solutions peuvent consister à trouver des compromis entre les effets positifs et négatifs. Les approches multicritères sont des outils prometteurs pour gérer ces antagonismes et trouver des compromis ; elles sont cependant émergentes. L'analyse multicritère a pour objectif d'aider un décideur à prendre une décision dans un environnement multidimensionnel en se basant sur un processus de décision déterminant la meilleure solution ou le meilleur compromis, selon des préférences prédéfinies. Le rôle du décideur est primordial, car les résultats dépendront des pondérations et des compensations appliquées aux différents critères, ainsi qu'aux allocations réalisées et aux unités fonctionnelles choisies. Certaines études ont évalué conjointement la qualité des produits et les performances environnementales des systèmes d'élevage dont ils sont issus (Botreau et al., 2018). D'autres s'intéressent plus particulièrement à la transformation (procédés, en particulier la cuisson, l'emballage et la conservation) ou à la chaîne du froid (Madoumier et al., 2020 ; Raffray et al., 2015 ; Rocchi et al., 2019). Ces analyses multicritères ont cependant encore du mal à couvrir l'ensemble des dimensions de la

qualité, ainsi que le continuum d'opérations depuis la production jusqu'à la consommation. Des progrès sont attendus dans les prochaines années, puisque des programmes européens récemment démarrés visent à caractériser simultanément les différentes dimensions de la qualité de produits animaux (lait et produits laitiers, viande bovine et de volaille) issus de la diversité des systèmes d'élevage européens et de coconstruire avec les différents acteurs des outils d'évaluation multicritère de ces produits.

## 5. LES SIQO : CONSTRUCTION DE LA QUALITE PAR LEURS ENGAGEMENTS

Les SIQO sont des vecteurs de réassurance. Ils permettent aux filières d'opérer une montée en gamme, d'en capter la valeur ajoutée, et aux territoires correspondants d'intégrer les externalités positives liées à ces produits. Les cinq SIQO en Europe sont : AB (Agriculture Biologique), AOP (Appellation d'Origine Protégée), IGP (Indication Géographique Protégée), STG (Spécialité Traditionnelle Garantie), reconnus en Europe et le LR (Label Rouge), qui est une spécificité française.
Les SIQO sont encadrés par des cahiers des charges indiquant leurs engagements et ils sont régulièrement contrôlés. Les dimensions d'image sont partagées par tous, les SIQO conférant aux produits certifiés crédibilité et fiabilité. Bien que toutes les dimensions de la qualité soient au final concernées, chaque SIQO développe cependant des liens privilégiés avec certaines. L'AB s'engage surtout sur les dimensions sanitaires en promouvant des « procédés qui ne nuisent pas à l'environnement et à la santé humaine ». Les AOP, IGP, STG mettent en avant des dimensions organoleptiques liées à la typicité et à la spécificité des produits, ainsi qu'à leur origine géographique (à différents degrés). Le LR est associé dans sa définition règlementaire à "un niveau de qualité supérieure".
L'analyse des engagements pris dans les cahiers des charges LR Gros Bovins (Raulet et al., 2022 ; Tableau 2) a permis de formaliser comment ces engagements sont liés aux différentes dimensions de la qualité et comment ce SIQO construit la qualité. Il mobilise des facteurs majeurs d'octroi de la qualité (notamment dans ses dimensions organoleptiques et d'image) aux différentes étapes de la chaîne d'élaboration, depuis les conditions d'élevage jusqu'à la maturation de la viande. En outre, des tris successifs sont effectués sur les animaux, les carcasses et les viandes qui peuvent être labellisés.

| Etapes d'élaboration du produit | Critère | Produit courant | Engagement LR | Propriétés organoleptiques de la viande |
|---|---|---|---|---|
| Type d'animal | Race | - | Race à viande<br>Voire 1 ou quelques races | Couleur, jutosité, tendreté, flaveur |
| | Type sexuel | - | Pas de mâles non castrés | Tendreté |
| | Age à l'abattage | - | Mâle : > 30 mois<br>Femelle : 28-120 mois<br>voire plus restrictif | Tendreté, couleur |
| Elevage | Pâturage | - | > 5 mois/an<br>voire > 8 mois/an | Couleur |
| Pré-abattage | Bien-être | - | Max 24 h entre enlèvement et abattage | Couleur, tendreté |
| Carcasse | Conformation | Toutes classes de développement musculaire ( E-U-R-O-P) | E-U-R (développement musculaire important)<br>voire E-U ou U-R | Peu de lien avec jutosité et flaveur |
| | Engraissement | 1 à 5 | 2 à 4 | Tendreté, jutosité, flaveur |
| | pH ultime | - | ≤ 5,8 | Couleur, jutosité |
| Viande | Maturation | 3 à 5j en moyenne | Viandes à griller/rôtir :<br>> 10j voire > 14j | Tendreté, flaveur |

**Tableau 2**. Renforcement des propriétés organoleptiques de la viande par les principaux engagements du cahier des charges Label Rouge Gros Bovins tout au long de la chaîne d'élaboration (vert : engagements sur le troupeau, orange : tri sur les caractéristiques de l'animal, de la carcasse et de la viande).

Pour les produits issus de l'AB, on constate une grande hétérogénéité dans les résultats des études comparant la qualité des produits issus de l'AB *vs* de l'agriculture conventionnelle, liée à la grande variabilité des pratiques d'élevage, à la fois en AB et en agriculture conventionnelle. Deux méta-analyses, l'une sur le lait de vache, l'autre sur les viandes, montrent que les produits AB présentent des propriétés nutritionnelles supérieures (teneur supérieure en AGPI, notamment en AGPI n-3), résultat lié aux différences dans l'alimentation des animaux (Srednicka-Tober et al., 2016 a et b ; Davis et al., 2022 ; Gaudaré et al., 2022). L'AB réduit également les risques de résidus de médicaments, de pesticides et d'antibiorésistance. Toutefois, l'accès au plein air et la durée d'élevage généralement plus longue augmentent l'exposition des animaux aux contaminants environnementaux et donc le risque de leur bioaccumulation dans les produits (Dervilly-Pinel et al., 2017). L'effet de l'AB sur les dimensions d'image varie selon l'espèce animale, le critère considéré (BEA, émissions polluantes, utilisation de ressources, biodiversité) et l'unité fonctionnelle employée. Enfin, les produits AB présentent généralement une qualité plus variable, ce qui peut s'expliquer par une moindre sélection génétique (volailles), une moindre utilisation d'intrants et/ou une plus grande variabilité des conditions d'élevage (ruminants et monogastriques). Les conséquences de cette plus grande variabilité pour les consommateurs et la transformation n'ont pas été abordées jusqu'à présent dans la littérature scientifique et constituent une piste de recherche à développer. Une synthèse récente détaille ces enseignements sur la qualité des produits d'origine animale issus de l'AB (Prache et al., 2022c)

## 6. EFFETS SUR LA SANTE HUMAINE

### 6.1. Participation à la couverture des besoins

L'intérêt nutritionnel des produits animaux repose sur leur teneur en protéines de haute valeur nutritionnelle et sur un apport en AG et en minéraux et vitamines spécifiques. La spécificité des produits animaux dans notre alimentation est d'être les pourvoyeurs majoritaires en AGPI n-3 LC et en vitamine B12, et de fournir tous les acides aminés indispensables ainsi que des micronutriments facilement assimilables. Une proportion élevée d'AGPI n-3, comme dans la chair des poissons gras ou dans les produits issus d'animaux nourris avec des végétaux riches en AGPI n-3 (herbe ou certains oléagineux), est bénéfique pour la santé. Au contraire, les effets délétères de certains AGS conduisent à recommander de maintenir l'apport quotidien en AGS totaux à moins de 12 % de l'apport énergétique total. La vitamine B12, qui joue un rôle crucial dans le développement du fœtus et les fonctions cognitives, est spécifiquement fournie par les aliments d'origine animale. Sans la consommation de ces produits, il faut recourir à des compléments alimentaires. Les protéines d'origine animale ont une teneur élevée et un profil en acides aminés indispensables bien équilibré par rapport aux besoins humains, ce qui les rend bien adaptées à des segments de population spécifiques comme les séniors, les enfants ou les sportifs. Les minéraux (fer, calcium, zinc) d'origine animale sont plus facilement disponibles que ceux d'origine végétale ; il s'agit donc d'outils de prévention des carences, notamment pour les femmes enceintes, les jeunes enfants et les personnes âgées. Des études épidémiologiques montrent que les végétariens ne présentent pas plus de problèmes de santé que les non-végétariens, même si les teneurs en micronutriments de leurs réserves corporelles sont plus faibles. Cependant, les végétaliens présentent une prévalence plus élevée de carences en certains nutriments, notamment en vitamines D et B12, en fer, en iode, en calcium et en zinc (Lemale et al., 2019 ; Sakkas et al., 2020).

### 6.2. Incidence sur les maladies chroniques

Les études d'épidémiologie nutritionnelle permettent d'établir des associations entre la consommation d'aliments d'origine animale et l'augmentation ou la diminution du risque de certaines maladies chroniques, comme le diabète, l'obésité, les cancers, les maladies cardio-vasculaires (MCV) et neuro-dégénératives (MAMA : maladie d'Alzheimer et maladies apparentées). Ces associations sont qualifiées par le niveau de preuve associé aux résultats. Des méta-analyses (Schwingshackl et al., 2017a et b ; WCRF et al., 2018a et b) montrent que la consommation de certains aliments peut avoir des effets positifs sur la santé, ou des effets négatifs s'ils sont consommés en excès. La consommation de poissons est ainsi

associée à une diminution du risque de mortalité prématurée et du risque de MCV et de MAMA, celle des produits laitiers à une diminution du risque de cancer colorectal (Tableau 3), avec un niveau de preuve probable. A l'inverse, une consommation élevée de charcuterie et de viande rouge est associée à des risques accrus. Une augmentation de 50 g/jour de la consommation de charcuterie est associée à une augmentation du risque de mortalité prématurée et du risque de cancer colorectal de 23 % et 16 % avec un niveau de preuve convaincant (Schwingshackl et al., 2017b ; WCRF et al., 2018a) (Tableau 3). Une augmentation de 100 g/jour de la consommation de viande rouge est associée à une augmentation de 10 % du risque de mortalité prématurée et de 12 % du risque de cancer colorectal, avec un niveau de preuve probable (Schwingshackl et al., 2017b ; WCRF et al., 2018a).

| Groupe de produits | Cancer | MCV | MAMA |
|---|---|---|---|
| Charcuterie | | | |
| Viande de boucherie hors volaille | | | |
| Viande de volaille | | | |
| Œufs | | | |
| Poisson | | | |
| Produits laitiers | | | |

***Légende***

*Augmentation du risque – Niveau de preuve convaincant*

*Augmentation du risque – Niveau de preuve probable*

*Diminution du risque – Niveau de preuve probable*

**Tableau 3.** Niveau de preuve des associations entre la consommation de groupes de produits animaux et les maladies chroniques (MCV : maladies cardiovasculaires ; MAMA : maladie d'Alzheimer et maladies apparentées). Cellules en blanc : niveau de preuve peu probable.

Ceci a conduit à recommander des plafonds de consommation (150 g et 500 g/semaine pour la charcuterie et la viande rouge). Les chiffres de la consommation en France s'établissent à 53 g/jour pour la viande rouge et 35 g/jour pour la charcuterie (Prache et al., 2020a). Le message de réduction de consommation s'adresse aux deux tiers des français dépassant le niveau de consommation recommandé pour la charcuterie et aux 28 % qui dépassent celui recommandé pour la viande rouge.

Même dans les pays où la consommation moyenne de protéines d'origine animale est supérieure aux besoins, certains segments de la population, en particulier les personnes âgées, peuvent avoir un apport inférieur à leurs besoins. A noter également que les régimes végétariens ou végétaliens sont généralement associés à un risque plus élevé de fractures osseuses (Tong et al., 2020), de sarcopénie (Marcos-Pardo et al., 2021) et d'anémie (Papier et al., 2021), point d'attention particulier dans un contexte du vieillissement de la population.

Les nitrites et nitrates, additifs utilisés pour la conservation et la couleur des charcuteries, sont suspectés d'être associés à un risque accru de cancer colorectal. En effet, des données expérimentales sur un modèle animal de carcinogénèse colorectale démontrent que produire une charcuterie sans nitrites limite le risque de carcinogénèse au stade prénéoplasique (Santarelli et al., 2010). Une étude épidémiologique très récente sur la cohorte Nutrinet-Santé a permis de mettre en évidence que les additifs nitrates et nitrites étaient également positivement associés aux risques de cancer du sein et de la prostate, respectivement (Chazelas et al., 2022). Sur cette base, l'Anses a émis un avis le 12 juillet 2022 concluant à : i) l'existence d'une association positive entre l'exposition aux nitrates et/ou aux nitrites *via* la charcuterie et le risque de cancer colorectal, ii) la nécessité de limiter l'exposition alimentaire aux nitrates et nitrites *via* la charcuterie (Anses, 2022). Les scientifiques travaillent sur plusieurs pistes pour réduire l'exposition de la population *via* la reformulation des produits charcutiers. L'objectif des projets en cours est d'évaluer l'impact de la réduction, du retrait et de la substitution de ces additifs. La finalité est d'évaluer si ces pistes présentent un avantage pour la santé des consommateurs et de vérifier leurs effets sur le risque microbiologique et la qualité des produits charcutiers.

Les études épidémiologiques sont menées à l'échelle de groupes de produits et ne prennent pas en compte la grande variabilité de leur composition liée à la variabilité des conditions de production et de transformation. Les catégories "charcuterie" et "viande rouge" englobent ainsi une grande diversité de produits ayant des compositions variées et ayant subi des procédés de transformation divers. Il y a donc besoin de mieux comprendre les liens entre santé et conditions de production et de transformation des aliments. Par ailleurs, sur la base des associations établies entre la consommation d'aliments dits 'ultra-transformés' et la santé humaine (Srour et Touvier, 2020), le PNNS recommande de réduire la consommation de ce type d'aliments. Cependant, la qualification d'ultra-transformation restant assez empirique et débattue, il apparait nécessaire de mieux caractériser les degrés de transformation et de formulation (composition) des aliments afin de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents et de faire évoluer les procédés de transformation en conséquence. L'expertise souligne ainsi le besoin d'une meilleure connexion entre les communautés scientifiques à l'échelle de l'élevage, de la transformation, de la nutrition humaine et de l'épidémiologie pour mieux qualifier les liens entre les pratiques d'élevage et de transformation et les effets sur la santé. Des recherches sont également nécessaires pour comprendre les leviers et les freins aux pratiques de substitution entre aliments, selon les populations, ainsi que les voies de transition d'un régime alimentaire vers un autre.

## CONCLUSION

La qualité des aliments d'origine animale peut être construite mais aussi altérée à toutes les étapes de la ferme à l'assiette. Cette synthèse souligne la primauté accordée aux dimensions commerciales de la qualité, notamment pour les produits standards, ce qui peut avoir des effets collatéraux négatifs pour d'autres dimensions de la qualité. Cette priorité, qui se traduit notamment dans les critères de paiement aux éleveurs, a logiquement fortement orienté la sélection génétique et les pratiques d'élevage. Des études s'intéressent à faire évoluer cette orientation en intégrant mieux d'autres dimensions de la qualité dans une approche plus globale. Cependant, comme ces évolutions se heurtent aux normes et jeux d'acteurs en cours, elles nécessitent une action publique en direction des normes et de l'organisation collective des filières. Il y a aussi besoin d'instruire des solutions permettant de mieux valoriser les animaux ne rentrant pas dans les 'canons' de la qualité commerciale, ainsi que d'accompagner les acteurs dans les évolutions correspondantes. Un autre enseignement de cette synthèse est le 'gap' entre les études épidémiologiques et les études à l'échelle de l'aliment. La prise en compte de l'effet des pratiques d'élevage et de transformation des aliments sur la santé humaine nécessite un effort collectif des communautés scientifiques travaillant à l'échelle de l'élevage, de la transformation des aliments, des comportements des consommateurs, de la nutrition humaine et de l'épidémiologie.

Les évolutions rapides des comportements alimentaires et des attentes sociétales, parfois difficiles à cerner avec précision, invitent à mieux anticiper les besoins et les motivations des consommateurs, et à instruire des solutions, parfois de rupture, dans les pratiques d'élevage et les procédés de transformation des aliments. Les consommateurs ont des exigences accrues quant aux conditions de production des animaux et de transformation des aliments, qui

s'accompagnent d'un besoin de réassurance et de transparence. L'authentification des conditions de production, de transformation et de l'origine font l'objet de beaucoup de travaux, mais les méthodes sont encore au stade de la preuve de concept et elles nécessitent de gagner en généricité et en robustesse pour pouvoir être transférées aux opérateurs. Par ailleurs, certains craignent que la profusion d'informations sur les étiquettes ne limite leur intérêt. Enfin, l'augmentation de la consommation d'aliments « prêts à consommer » se fait au détriment des savoir-faire culinaires. Pour contrecarrer cette évolution et recréer de l'autonomie dans les choix alimentaires, l'éducation est essentielle. Le manque de littérature sur les pratiques culinaires et de consommation à domicile sont à ce titre éloquents. Cette étape finale est pourtant déterminante pour la qualité des aliments qui seront consommés.


**Aberle E.D., Forrest J.C., Gerrard D.E., Mills E.W., 2012**. Properties of fresh meat. In: Principles of meat science – fifth edition. Aberle E.D., Forrest J.C., Gerrard D.E., Mills E.W. (Eds). Kendall Hunt Publishing, Dubuque, IA, USA, pp131-140.

**Aboah J., Lees N., 2020**. Consumers use of quality cues for meat purchase: Research trends and future pathways. Meat Sci. 166, 108142.

**Agence Bio, 2022**. Les chiffres 2021 du secteur bio, 13 pp.

**Albert F., Bedoin F., Couzy C., Martin B., Laithier C., 2022**. Evaluation des attentes de groupes multi-acteurs sur la qualité et l'authentification du lait et des produits laitiers. Renc. Rech. Ruminants, *in press*.

**Anses, 2018**. Attribution des sources des maladies infectieuses d'origine alimentaire. Partie 2 : Analyse des données épidémiologiques. Ed. Anses, Paris, France.

**Anses, 2022**. Evaluation des risques liés à la consommation de nitrates et nitrites. Saisine 2020-SA-0106. Maisons-Alfort : Anses, 275 pp.

**Baéza E., Guillier L., Petracci M., 2022**. Review: Production factors affecting poultry carcass and meat quality attributes. Anim. 16, 100331.

**Bax M.L., Aubry L., Ferreira L., Daudin J.D., Gatellier P., Remond D., Sante-Lhoutellier V., 2012**. Cooking temperature is a key determinant of *in vitro* protein digestion rate: investigation and underlying mechanisms. J. Agric. Food Chem. 60, 2569-2576.

**Berri C., Picard B., Lebret B., Andueza D., Lefèvre F., Le Bihan-Duval E., Beauclercq S., Chartrin P., Vautier A., Legrand I., Hocquette J.F., 2019**. Review. Predicting the quality of meat: myth or reality? Foods 8, 436.

**Berthelot V., Gruffat D., 2018**. Fatty acid composition of muscle. In: INRA Feeding System for ruminants. Sauvant D., Delaby L., Nozière P. (Eds). Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, pp. 193-202.

**Bonny S.P.F., Pethick D.W., Legrand I., Wierzbicki J., Allen P., Farmer L.J., Polkinghorne R.J., Hocquette J.F., Gardner G.E., 2016**. European conformation and fat scores have no relationship with eating quality. Anim. 10, 996-1006.

**Bonny S.P.F., Hocquette J.F., Pethick D.W., Legrand I., Wierzbicki J., Allen P., Farmer L.J., Polkinghorne R.J., Gardner G.E., 2018**. Review: the variability of the eating quality of beef can be reduced by predicting consumer satisfaction. Anim. 12, 2434-2442.

**Botreau R., Beauchet S., Laurent C., Hulin S., Hérisset R., Thiollet-Scholtus M., Kanyarushoki C., Boucault P., Renaud-Gentié C., Jourjon F., 2018**. Une méthode pour évaluer conjointement performance environnementale et qualité globale des produits-Application aux filières vin et lait. Innov. Agron. 63, 23-42.

**Boudon S., Ounaissi D., Viala D., Monteils V., Picard B., Cassar-Malek I., 2020**. Label free shotgun proteomics for the identification of protein biomarkers for beef tenderness in muscle and plasma of heifers. J. Proteom. 217, 103685.

**Braesco V., Souchon I., Sauvant P., Haurogné T., Maillot M., Féart C., Darmon N., 2022**. Ultra-processed foods: how functional is the NOVA system? Eur. J. Clin. Nutr. 76, 1245-1253.

**Chazelas E., Pierre F., Druesne-Pecollo N., Essedik Y., Szabo de Edelenyi F., Agaësse C., De Sa A., Lutchia R., Gigandet S., Srour B., Debras C.H., Huybrechts I., Julia C., Kesse-Guyot E., Allès B., Galan P., Hercberg S., Deschasaux-Tanguy M., Touvier M. 2022**. Nitrites and nitrates from additives and natural sources and cancer risk: results from the NutriNet-Santé cohort. Int. J. Epidemiol. doi: 10.1093/ije/dyac046.

**Coppa M., Verdier-Metz I., Ferlay A., Pradel P., Didienne R., Farruggia A., Montel M.C., Martin B., 2011**. Effect of different grazing systems on upland pastures compared with hay diet on cheese sensory properties evaluated at different ripening times. International Dairy J. 21, 815-822.

**Danezis G.P., Tsagkaris A.S., Camin F., Brusic V., Georgiou C.A., 2016**. Food authentication; Techniques, trends and emerging approaches. Trends in Analytical Chem. 85, 123-132.

**Davis H., Magistrali A., Butler G., Stergiadis S., 2022**. Nutritional benefits from fatty acids in organic and grass-fed beef. Foods 11, 646.**Dervilly-Pinel G., Guerin T., Minvielle B., Travel A., Normand J., Bourin M., Royer E., Dubreil E., Mompelat S., Hommet F., Nicolas M., Hort V., Inthavong C., Saint-Hilaire M., Chafey C., Parinet J., Cariou R., Marchand P., Le Bizec B., Verdon E., Engel E., 2017**. Micropollutants and chemical residues in organic and conventional meat. Food Chem. 232, 218-228.

**Eiras C.E., Prunier A., Meteau K., Nunes do Prado I., Prache S., 2022**. Is a short concentrate-finishing period in lambs raised on alfalfa pasture effective at reducing fat indoles contents and lightening meat colour? Anim. 16, 100610.

**Eriksen M.S., Rodbotten R., Grondahl A.M., Friedstad M., Andersen I.L., Mejdell C.M., 2013**. Mobile abattoirs versus conventional slaughterhouse-Impacts on stress parameters and meat quality characteristics in Norwegian lambs. Appl. Anim. Behav. Sci. 149, 21-29.

**Font-i-Furnols M., Guerrero L., 2014**. Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview. Meat Sci. 98, 361-371.

**FranceAgriMer, 2019**. Combien de végétariens en Europe? Synthèse des résultats à partir de l'étude 'Panorama de la consommation végétarienne en Europe' réalisée par le Crédoc pour FranceAgriMer et l'OCHA en 2018, 34 pp.

**FranceAgriMer, 2021**.Végétariens et flexitariens en France en 2021. Enquête Ifop pour FranceAgriMer. Rapport complet de l'étude, 151 pp.

**Fretin M., Ferlay A., Verdier-Metz I., Fournier F., Montel M.C., Farruggia A., Delbes C., Martin B., 2017**. The effects of low-input grazing systems and milk pasteurisation on the chemical composition, microbial communities, and sensory properties of uncooked pressed cheeses. International Dairy J. 64, 56-67.

**Gaudaré U., Pellerin S., Benoit M., Durand G., Dumont B., Barbieri P., Nesme T., 2022**. Comparing productivity and feed-use efficiency between organic and conventional animals. Environ. Res. Lett. 16, 024012.

**Gautron J., Réhault-Godbert S., Van de Braak T.G.H., Dunn I.C., 2021**. Review: what are the challenges facing the table egg industry in the next decades and what can be done to address them? Anim. 15, 100282.

**Guillier L., Duret S., Hoang H. M., Flick D., Nguyen-Thé C., Laguerre O., 2016**. Linking food waste prevention, energy consumption and microbial food safety: the next challenge of food policy? Curr. Opin. in Food Sci. 12, 30-35.

**Hocquette J.F., Ellies-Oury M.P., Legrand I., Pethick D., Gardner G., Wierzbicki J., Polkinghorne R., 2020**. Research in beef tenderness and palatability in the era of big data. Meat and Muscle Biol. 4, 1-13.

**Janssen M., Rodiger M., Hamm U., 2016**. Labels for animal husbandy systems meet consumer preferences: results from a méta-analysis of consumer studies. J. Agric. and Environmental Eth. 29, 1071-1100.

**Kondjoyan A., Chevolleau S., Portanguen S., Molina J., Ikonic P., Clerjon S., Debrauwer L., 2016**. Relation between crust development and heterocyclic aromatic amine formation when air-roasting a meat cylinder. Food Chem. 213, 641-646.
**Le Boucher R., Dupont-Nivet M., Laureau S., Labbe L., Geurden I., Medale F., Chatain B., Vandeputte M., Quillet E., 2013**. Selective breeding and shift to plant-based diets in fish farming. INRA Prod. Anim. 26, 317-326.
**Lebret B., Čandek-Potokar M., 2022a**. Review: Pork quality attributes from farm to fork. Part I. Carcass and fresh meat. Anim. 16, 100402.
**Lebret B., Čandek-Potokar M., 2022b**. Review: Pork quality attributes from farm to fork. Part II. Processed pork products. Anim. 16, 100383.
**Lemale J., Mas E., Jung C., Bellaiche M., Tounian P., 2019**. Vegan diet in children and adolescents. Recommandations from the French-speaking pediatric hepatology gastroenterology and nutrition group. Archives de Pédiatrie 26, 442-450.
**Lund T.B., McKeegan D.E.F., Cribbin C., Sandøe P., 2016**. Animal Ethics Profiling of Vegetarians, Vegans and Meat-Eaters. Anthrozoös 29, 89-106.
**Madoumier M., Azzaro-Pantel C., Gésan-Guiziou G., 2020**. Including cleaning and production phases in the eco-design of a milk evaporation process. Food and Bioproducts Process. 123, 427-436.
**Marcos-Pardo P.J., Gonzalez-Galvez N., Lopez-Vivancos A., Espeso-Garcia A., Martinez-Aranda L.M., Gea-Garcia G.M., Orquin-Castrillon F.J., Carbonell-Baeza A., Jimenez-Garcia J.D., Velazquez-Diaz D., Cadenas-Sanchez C., Isidori E., Fossati C., Pigozzi F., Rum L., Norton C., Tierney A., Abelkalns I., Klempere-Sipjagina A., Porozovs J., Hannola H., Niemisalo N., Hokka L., Jimenez-Pavon D., Vaquero-Cristobal R., 2020**. Sarcopenia, diet, physical activity and obesity in European middle-aged and older adults: the LifeAge Study. Nutrients 13, 8.
**Martin B., Graulet B., Uijttewaal A., Ferlay A., Coppa M., Rémond D., 2019**. Contribution of dairy products to dietary intake and the influence of dairy cow forage. Fourrages 239, 193-202.
**McAuliffe G.A., Takahashi T., Lee M.R.F., 2018**. Framework for life cycle assessment of livestock production systems to account for the nutritional quality of final products. Food and Energy Secur. 7, e00143.
**Meunier B., Normand J., Albouy-Kissi B., Micol D., El Jabri M., Bonnet M., 2021**. An open-access computer image analysis (CIA) method to predict meat and fat content from an android smartphone-derived picture of the bovine 5th-6th rib. Methods 186, 79-89.
**Meurillon M., Ratel J., Engel E., 2018**. How to secure the meat chain against toxicants? Innovative Food Sci. & Emerg. Technol. 46, 74-82.
**Monteiro C.A., Cannon G., Moubarac J.C., Levy R.B., Louzada M.L.C., Jaime P.C., 2018**. The UN decade of nutrition, the NOVA food classification and the trouble with ultra-processing. Public Health Nutr. 21, 5-17.
**Mourot B.P., Gruffat D., Durand D., Chesneau G., Prache S., Mairesse G., Andueza D., 2014**. New approach to improve the calibration of main fatty acids by near-infrared reflectance spectroscopy in ruminant meat. Anim. Prod. Sci. 54, 1848-1852.
**Mugnai C., Sossidou E.N., Dal Bosco A., Ruggeri S., Mattioli S., Castellini C., 2014**. The effects of husbandry system on the grass intake and egg nutritive characteristics of laying hens. J. Sci. Food and Agric. 94, 459-467.
**Papier K., Fensom G.K., Knuppel A., Appleby P.N., Tong T.Y.N., Schmidt J.A., Travis R.C., Key T.J., Perez-Cornago, A., 2021**. Meat consumption and risk of 25 common conditions: outcome-wide analyses in 475,000 mean and women in the UK Biobank study. BMC Med. 19, 53.
**Picard B., Lebret B., Cassar-Malek I., Liaubet L., Berri C., Le Bihan-Duval E., Hocquette J.F., Renand G., 2015**. Recent advances in omic technologies for meat quality management. Meat Sci. 109, 18-26.
**Pointereau P., 2019**. Le revers de notre assiette: changer d'alimentation pour préserver notre santé et notre environnement. Solagro, Paris, France, 63p.
**Ponnampalam E.N., Mann N.J., Sinclair A.J., 2006**. Effect of feeding systems on omega-3 fatty acids, conjugated linoleic acid and trans fatty acids in Australian beef cuts: potential impacts on human health. Asia Pac. J. Clinical Nutr. 15, 21-29.
**Prache S., Sante-Lhoutellier V., Adamiec C., Astruc T., Baeza-Campone E., Bouillot P.E., Bugeon J., Cardinal M., Cassar-Malek I., Clinquart A., Coppa M., Corraze G., Donnars C., Ellies M.P., Feidt C., Fourat E., Gautron J., Girard A., Graulet B., Guillier L., Hocquette J.F., Hurtaud C., Kesse-Guyot E., Kerhoas N., Lebret B., Lefevre F., Le Perchec S., Martin,B., Médale F., Mirade P.S., Nau F., Pierre F., Raulet M., Remond D., Sans P., Sibra C., Souchon I., Touvier M., Verrez-Bagnis V., Vitrac O., 2020a**. Qualité des aliments d'origine animale selon les conditions de production et de transformation. Rapport de l'expertise scientifique collective. INRAE, Paris, France, 1023p, https://www.inrae.fr/actualites/qualite-aliments-dorigine-animale-conditions-production-transformation
**Prache S., Martin B., Coppa M., 2020b**. Review: Authentication of grass-fed meat and dairy products from cattle and sheep. Anim. 14, 854-863.
**Prache S., Adamiec C., Astruc T., Baeza-Campone E., Bouillot P.E., Clinquart A., Feidt C., Fourat E., Gautron J., Girard A., Guillier L., Kesse-Guyot E., Lebret B., Lefevre F., Le Perchec S., Martin, B., Mirade P.S., Pierre F., Raulet M., Remond D., Sans P., Souchon I., Donnars C., Sante-Lhoutellier V., 2022a**. Review: Quality of animal-source foods. Anim. 16, 100376.
**Prache S., Schreurs N., Guillier L., 2022b**. Review: Factors affecting sheep carcass and meat quality attributes. Anim. 16, 100330.
**Prache S., Lebret B., Baéza E., Martin B., Gautron J., Feidt C., Médale F., Corraze G., Raulet M., Lefèvre F., Verrez-Bagnis V., Sans P., 2022c**. Review: Quality and authentication of organic animal products in Europe. Anim. 16, 100405.
**Provenza F.D., Kronberg S.L., Gregorin, P., 2019**. Is grassfed meat and dairy better for human and environmental health? Frontiers in Nutr. 6, 26.
**Pugliese C., Sirtori F., 2012**. Quality of meat and meat products produced from southern Europe pig breeds. Meat Sci. 90, 511-518.
**Pussemier L., Mohimont L., Huyghebaert A., Goeyens L., 2004**. Enhanced levels of dioxins in eggs from free range hens; a fast evaluation approach. Talanta 63, 1273-1276.
**Raffray G., Collignan A., Sebastian P., 2015**. Multiobjective optimization of the preliminary design of an innovative hot-smoking process. J. Food Eng 158, 94-103.
**Raulet M., Clinquart A., Prache S., 2021**. Construction of beef quality through official quality signs, the example of Label Rouge. Anim. 16, 100357.
**Rocchi L., Paolotti L., Rosati A., Boggia A., Castellini C., 2019**. Assessing the sustainability of different poultry production systems: A multicriteria approach. J. Clean. Prod. 211, 103-114.
**Sakkas H., Bozidis P., Touzios C., Kolios D., Athanasiou G., Athanasopoulou E., Gerou I., Gartzonika C., 2020**. Nutritional status and the influence of the vegan diet on the gut microbiota and human health. Med.-Lithuania 56, 88.
**Salami S.A., Luciano G., O'Grady M.N., Biondi L., Newbold C.J., Kerry J.P., Priolo A., 2019**. Sustainability of feeding plant by-products: a review of the implications for ruminant meat production. Anim. Feed Sci. and Technol. 251, 37-55.
**Santarelli R.L., Naud N., Taché S., Guéraud F., Vendeuvre J.L., Viau M., Genot C., Corpet D.E., Pierre F.H.F. 2010**. Meat processing and colon carcinogenesis: cooked, nitrited and oxidized high-heme cured meat promotes mucin depleted foci in rats. Cancer Prevention Res. 3:8, 852-864.

**Schwingshackl L., Hoffmann G., Lampousi A.M., Knuppel S., Iqbal K., Schwedhelm C., Bechthold A., Schlesinger S., Boeing H., 2017a**. Food groups and risk of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. Eur. J. of Epidemiol. 32, 363-375.

**Schwingshackl L., Schwedhelm C., Hoffmann G., Lampousi A.M., Knuppel S., Iqbal K., Bechthold A., Schlesinger S., Boeing H., 2017b**. Food groups and risk of all-cause mortality: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. Am. J. of Clinical Nutr. 105, 1462-1473.

**Springmann M., Mason-D'Coz D., Robinson S., Wiebe K., Godfrey H.C.J., Rayner M., Scarborough P., 2018**. Health-motivated taxes on red and processed meat: a modelling study on optima tax levels and associated health impacts. Plos One 13, e0204139.

**Srednicka-Tober D., Baranski M., Seal C.J., Sanderson R., Benbroock C., Steinshamm H., Gromadzka-Ostrowska J., Rembialkowska E., Skwarlo-Sonta K., Eyre M., Cozzi G., Larsen M.K., Jordon T, Niggli U., Sakowski T., Calde, P.C., Burdge G.C., Sotiraki S., Stefanakis A., Stergiadis S., Yolcu H., Chatzidimitriou E., Butler G., Stewart G., Leifert C., 2016a**. Higher PUFA and n-3 PUFA, conjugated linoleni acid, alpha-tocopherol and iron, nut lower iodine and selenium concentrations in organic milk: a systematic literature review and meta- and redundancy analyses. Br. J. Nutr. 115, 1043-1060.

**Srednicka-Tober D., Baranski M., Seal C.J., Sanderson R., Benbroock C., Steinshamm H., Gromadzka-Ostrowska J., Rembialkowska E., Skwarlo-Sonta K., Eyre M., Cozzi G., Larsen M.K., Jordon T., Niggli U., Sakowski T., Calder P.C., Burdge G.C., Sotiraki S., Stefanakis A., Yolcu H., Stergiadis S., Chatzidimitriou E., Butler, G., Stewart G., Leifert C., 2016b**. Composition differences between organic and conventional meat: a systematic literature review and meta-analysis. Br. J. Nutr. 115, 994-1011.

**Srour B., Touvier M., 2020**. Processed and ultra-processed foods: coming to a health problem? International J. Food Sci. Nutr. 71, 653-655.

**Sturaro E., Bedoin F., Bühl V., Cartoni-Mancinelli A., Couzy C., Eppenstein R., McLaughlin S., Pagliacci F., Laithier C., 2022**. Consumer's expectations about quality of livestock products: focus groups in 4 European countries. EAAP-73rd Annual Meeting, Porto, Portugal, 607.

**Terlouw E.M.C., Picard B., Deiss V., Berri C., Hocquette J.F., Lebret B., Lefèvre F., Hamill R., Gagaoua M., 2021**. Review. Understanding the determination of meat quality using biochemical characteristics of the muscle: stress at slaughter and other missing keys. Foods 10, 84.

**Theron L., Sayd T., Chambon C., Venien A., Viala D., Astruc, T., Vautier, A., Sante-Lhoutellier, V., 2019**. Deciphering PSE-like muscle defect in cooked ham: a signature from the tissue to the molecular scale. Food Chem. 270, 359-366.

**Tong T.Y.N., Appleby P.N., Armstrong M.E.G., Fensom G.K., Knuppel A., Papier K., Perez-Cornago A., Travis R.C., Key T.J., 2020**. Vegetarian and vegan diets and risks of total and site-specific fractures: results from the prospective EPIC-Oxford study. BMC Med. 18, 353.

**Van der Werf H.M.G., Knudsen M.T., Cederberg,C., 2020**. Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. Nat. Sustainability 3, 419-425.

**WCRF; AICR; CUP Expert Report, 2018a**. Meat, fish and dairy products and the risk of cancer. WCRF International, London, UK.

**WCRF; AICR; CUP Expert Report, 2018b**. Diet, nutrition, physical activity and cancer: energy balance and body fatness. The determinants of weight gain, overweight and obesity. Diet, nutrition, physical activity and cancer: a global perspective. WCRF International, London, UK.

## Evaluation des attentes de groupe multi-acteurs sur la qualité et l'authentification du lait et produits laitiers

ALBERT F. (1), BEDOIN F. (2), COUZY C. (2), MARTIN B. (3), LAITHIER C. (4),
(1) Institut de l'Elevage, service qualité du lait et des produits laitiers, QAP404, CS 52637 – 31321 Castanet Tolosan
(2) Institut de l'Elevage, service Approches Sociales et travail en Elevage, 23, rue Jean Baldassini - 69364 LYON cedex 07
(3) Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle
(4) Institut de l'Elevage, service qualité du lait et des produits laitiers, QAP404, 23, rue Jean Baldassini – 69364 LYON cedex 07

**RESUME -** Le projet de recherche européen INTAQT vise à développer des outils innovants pour l'évaluation et l'authentification de la qualité des viandes de bœuf et de poulet, du lait et des produits laitiers. Il cherche à objectiver le lien entre les modes d'élevage et les critères de qualité intrinsèques de ces produits. Au cœur de la démarche, l'implication de groupes d'acteurs organisés par type de produit : producteurs, transformateurs, distributeurs, associations consuméristes et citoyennes, permet de prendre en compte leurs attentes et craintes. Au début du projet, l'objectif de ces consultations est de formuler des recommandations pour intégrer au dispositif expérimental 1/ des systèmes et pratiques d'élevages d'intérêt pour les acteurs, 2/ des critères de qualité et analyses selon les besoins exprimés. Par ailleurs, l'objectif du projet est de construire un outil de score multicritère, synthétisant l'ensemble des critères de qualité étudiés, et d'en recueillir les attentes et craintes des groupes d'acteurs. Pour y parvenir, des entretiens individuels ont été conduits. En France, 17 acteurs de la filière bovine laitière ont fait l'objet d'entretiens qualitatifs sur leur vision de la qualité, les liens avec l'élevage et leurs réactions sur les différents points du projet. Les critères organoleptique, sanitaire, technologique et nutritionnel constituant la qualité intrinsèque des produits laitiers ont été cités spontanément par tous les types d'acteurs. Il en est de même pour les critères extrinsèques de « naturalité », environnement, bien-être animal, social, et des conditions d'élevage. Le besoin de transparence et de visibilité des modes d'élevage et de la transformation ressort comme un enjeu central, partagé par tous les acteurs. L'environnement, le bien-être animal, la « naturalité des produits » et de la simplification des recettes (limitation des additifs…), sont perçues comme des enjeux croissants. Tandis que la substitution des produits laitiers par les produits végétaux ou de synthèse, représente aux yeux de certains une menace future. Les attentes des acteurs sur le projet INTAQT font écho aux opinions exprimées sur les perspectives d'évolution de la qualité des produits laitiers. Enfin, l'outil de score multicritère divise les acteurs. Certains d'entre eux y voient une opportunité de « contrecarrer » le Nutriscore. D'autres redoutent d'apporter une information supplémentaire complexe à comprendre pour le consommateur. Dans tous les cas, il s'agit de bien définir la cible, et les messages à faire passer. Ces consultations ont permis de mettre au cœur de ce projet de recherche européen les attentes des professionnels et sociétales. Les recommandations permettront de moduler les dispositifs expérimentaux et d'apporter des éléments scientifiques objectivés pour y répondre.

## Assessment of French multi-actors' expectations on milk and dairy products quality and authentication

ALBERT F. (1), BEDOIN F. (2), COUZY C. (2), MARTIN B. (3), LAITHIER C. (4),
(1) Institut de l'Elevage, service qualité du lait et des produits laitiers, QAP404, CS 52637 – 31321 Castanet Tolosan

**SUMMARY -** The H2020 European research project INTAQT aims at developing innovative tools to assess and authenticate beef, chicken, milk and dairy products quality. This project studies more specifically the link between husbandry systems and intrinsic quality criteria. A group of stakeholders is involved to consider their expectations, suggestions and concerns. They represent the whole supply chain, from farmers, to dairy plants, retailers up to citizens and consumers organizations. Their consultations were meant to address recommendations to add to the experimental dispositive 1/ husbandry systems and practices of interest to them, 2/ quality criteria, and analysis according to the expressed needs. Furthermore, one of the challenges in the project is to build a synthetic multicriteria scoring tool including the quality criteria studied and consider stakeholders' expectations and fears. In France, 17 qualitative interviews were led with stakeholders on their views on dairy product quality, its link to husbandry and their reaction about the project. The organoleptic, safety, technological and nutritional criteria, referred as intrinsic dairy product quality were cited spontaneously. As well as the extrinsic factors of naturalness, environment, animal welfare, social aspect and rearing conditions. The need for transparency and visibility related to husbandry and dairy process are considered by all the stakeholders as a central stake. Environment, animal welfare, products naturalness and the recipes simplification are regarded as growing challenges. On the opposite, dairy products substitution by vegetal products or synthetic products represents a real threat to some of them. The stakeholders' expectations on the INTAQT project echo the opinions expressed on the dairy products quality evolution perspectives. Lastly, the multicriteria scoring tool divides the stakeholders. For some of them, this tool could be an opportunity to counterbalance the Nutriscore. Some others fear to bring more complex information to understand to the consumer, getting lost. In any case, stakeholders advised to define precisely the target of such a tool, and the messages to deliver. Those consultations allowed to consider the professional and societal expectations as core questions of this European research program. They will enable to bring some implementations to the experimental dispositive, considering its feasibility. Thus, it will bring objectified scientific elements to answer to those expectations.

## INTRODUCTION

L'élevage connaît actuellement une controverse importante en Europe. Les préoccupations et attentes du citoyen et du consommateur sont multiples vis-à-vis de la qualité des produits. Aussi, le projet Européen INTAQT (INovative Tools for Assessment and Authentication of chicken meat, beef and dairy product's QualiTies) cherche à objectiver les liens entre conditions d'élevage et qualité intrinsèque (nutritionnelle, sensorielle et sanitaire) des produits dans 3 filières animales : les viandes de bœuf et poulet, le lait et les produits laitiers. Leur sélection s'explique par le poids de ces secteurs en Europe, mais également par la diversité des systèmes existants. Le présent article se focalisera sur les produits laitiers. A ce titre, la France est le second producteur de lait européen. Elle comptait en 2020, 50 289 fermes laitières livrant du lait de vache pour environ 23,5 milliards de litres de lait collectés (CNIEL, 2022). Une des spécificités de la filière laitière française est la diversité conditions de production et des produits laitiers avec et en particulier la présence d'Indications Géographiques (IG), avec 51 les Appellations d'Origine Protégées (AOP) et 10 Indications Géographique Protégées (IGP) (CNAOL, INAO, 2021). INTAQT permet une approche innovante et originale en intégrant au cœur de ses actions, parmi les pays partenaires, une consultation des acteurs de la chaîne alimentaire du producteur aux consommateur et aux citoyens au travers de groupes multi-acteurs organisés par type de produit où sont exprimées attentes et craintes en vue de leur prise en compte dans le projet. Aussi, une forte interaction existe entre les groupes d'acteurs aux échelles nationales et européennes, et au sein de la communauté scientifique de ce projet. Ces groupes multi-acteurs ont pour rôle la première année du projet d'établir des recommandations concernant la définition du dispositif expérimental, en particulier les critères et analyses à réaliser, les systèmes d'élevage à prendre en compte. L'objet est aussi de recueillir un premier avis sur l'outil d'évaluation multi-scores de la qualité intrinsèque des produits. En amont de la réunion de ces groupes multi-acteurs, une consultation plus large a été conduite en prenant en compte les différents types d'acteurs. Ainsi, des entretiens en face-à-face ont été menés pour prendre en compte toute la diversité d'acteurs et de contexte dans les filières. Cet article se focalisera sur la méthodologie et les résultats obtenus au niveau des entretiens individuels des acteurs français, pour le lait et les produits laitiers.

## 1-MATERIEL ET METHODES

### 1.1- LES ACTEURS ENQUETES

Au total, 17 entretiens ont été réalisés, correspondant à 21 personnes dont 4 binômes. Quatre grands types d'acteurs ont été interviewés : des producteurs de lait, des entreprises laitières privées ou coopératives, des représentants de la grande distribution, de restauration collective ou réseau de vente au détail de type crèmeries/ fromageries, ainsi que des associations consuméristes, environnementalistes et welfaristes (cf. tableau 1).

Une attention particulière a été portée sur la sélection des acteurs représentant la filière laitière générale et d'autres représentant les spécificités AOP. Pour garantir cette représentation et diversité, nous avons contacté les organisations nationales correspondantes.

Parmi les 4 producteurs de laits, deux étaient en AOP. Ces choix s'expliquent par : 1/ le poids du secteur bovin laitier français au regard de l'élevage européen, 2/ la spécificité française de la production sous IG, représentant 12% du lait de vache utilisé dans la collecte française (CNAOL, INAO, 2021). Le choix des 7 entreprises laitières privées et coopératives s'explique par la structuration de la filière bovine laitière française, où 54% du lait est collecté par des coopératives et 46% par des entreprises privées. En 2020, ce lait était transformé sur 721 sites de transformation sur le territoire appartenant à 500 entreprises, parmi lesquelles 4 groupes français figurent dans le Top 15 mondial (CNIEL, 2022). Parmi ces 7 acteurs représentant des entreprises laitières privées et coopératives, 2 représentaient les AOP spécifiquement. Ce choix s'explique également par le nombre important d'ateliers de transformation et d'affinage dans le paysage laitier français, respectivement 378 ateliers de transformation et 228 ateliers d'affinage en AOP ou IGP (CNAOL, INAO, 2021).

Les acteurs sélectionnés pour représenter l'aval de la filière, étaient respectivement des représentants de fédérations de la grande distribution, de la restauration collective et des réseaux de vente au détail (crémiers – fromagers). Ce choix est représentatif des modes de consommations de produits laitiers des Français. Environ 2/3 des fromages achetés (AOP ou non AOP) le sont en hypermarché ou supermarché. Et les achats en commerce spécialisés de type crèmeries représentent environ 5% pour les fromages sans IG et 13% pour les fromages AOP. 92% des Français consomment des fromages, beurres et crèmes AOP (CNAOL, INAO, 2021).

Enfin, les associations consuméristes, environnementalistes et welfaristes sélectionnées collaborent régulièrement avec le secteur de l'élevage.

Respectivement, parmi les producteurs et transformateurs, 4 représentaient spécifiquement les AOP, soit 1/3 des entretiens (producteur de lait, producteur fermier, et entreprise privée et coopérative), et 7 représentaient la filière générale, soit 2/3 des entretiens (producteurs de lait, entreprises coopératives et privées, fédérations). Parmi les 17 personnes interviewées, il y avait 9 hommes et 12 femmes (4 binômes).

### 1.2- CONDUITE DES ENTRETIENS « EN ENTONNOIR »

Ces entretiens qualitatifs semi-directifs ont été menés entre novembre 2021 et janvier 2022, en présentiel ou en distanciel par visio-conférence. Afin d'éviter d'éventuel biais de perception des attentes des acteurs, le guide d'entretien a été conçu en « entonnoir » et comportait deux parties (Kling-éveillard et al., 2012). La première, assez générale, consistait à questionner les acteurs sur leur vision des composantes de la qualité du lait et des produits laitiers, les moteurs d'évolution passée et perspectives futures. Puis, ils étaient interrogés sur leur perception du lien entre condition d'élevage et qualité des produits.

| Types d'acteurs représentés | Nombre d'entretiens | Part représentée |
|---|---|---|
| Producteurs de lait | 4 | 24% |
| Entreprises laitières privées ou coopératives | 7 | 41% |
| Grande distribution, restauration collective, réseau de vente au détail | 3 | 18% |
| Associations consuméristes, environnementalistes et welfaristes | 3 | 18% |

**Tableau 1** : Grandes familles d'acteurs interviewés

Dans un second temps, le projet INTAQT leur était présenté. En particulier les analyses initialement prévues au sein des critères nutritionnels, sensoriels et sanitaires étaient présentées, à quoi il leur était demandé leur opinion et d'exprimer leurs attentes et craintes. Il en était de même pour les 3 systèmes d'élevages initialement choisis, à savoir système bovin lait de moyenne montagne avec pâturage et races mixte (production comprise entre 4 000 et 7 000 litres par vache), système de plaine avec herbe et ensilage de maïs et race spécialisée lait (production comprise entre 6 000 et 7 000 litres par vache), système de plaine avec ensilage de maïs et forte production (comprise entre 8 000 et 10 000 litres par vache). Pour le cas de la France, l'enjeu était de déterminer 3 systèmes supplémentaires au sein du dispositif INTAQT selon les attentes des acteurs. Enfin, en troisième lieu, la construction d'un outil de scoring multicritère, basé sur les performances de qualité intrinsèque (nutritionnelle, sensorielle et sanitaire) leur était présenté, ce à quoi il leur était demandé d'exprimer leurs craintes, attentes et d'éventuels éléments à inclure.

### 1.3-DEPOUILLEMENT ET ANALYSE DU CONTENU THEMATIQUE

Tous les entretiens ont duré en moyenne 2 heures 15 et ont été enregistrés. A chaque entretien une carte mentale synthétisait les propos des acteurs sur leur définition de la qualité du lait et des produits laitiers ainsi que ses facteurs de variations. La prise de note conjointement à la transcription des passages les plus significatifs a permis la construction de la grille de dépouillement. Chaque entretien a fait l'objet d'une fiche-résumé. La grille de dépouillement reprenait les thèmes et sous-thèmes du guide d'entretien, complétés par ceux abordés spontanément par les personnes enquêtées. Elle a constitué le support de l'analyse thématique approfondie.

## 2-RESULTATS

### 2.1-PERCEPTION DE LA QUALITE DES PRODUITS LAITIERS

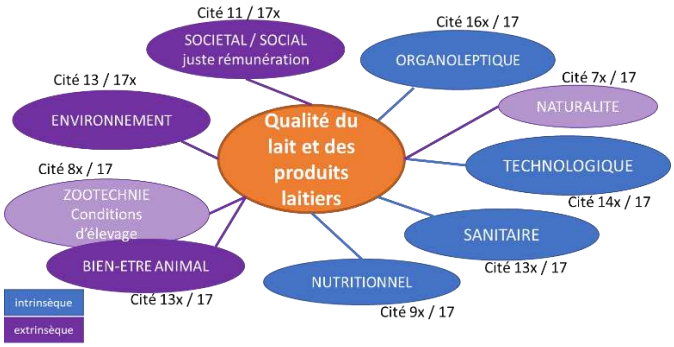



**Figure 1** : Perception des principaux critères en lien avec la qualité intrinsèque et extrinsèque des produits laitiers

Vingt-sept éléments relatifs à la qualité ont été cités spontanément par les acteurs interviewés. Plusieurs éléments sont interconnectés. Neuf critères : organoleptique, technologique, environnemental, sanitaire, de bien-être animal, social et sociétal, nutritionnel, zootechnique et de naturalité, sont cités par tous les types d'acteurs (cf. figure 1), provenant de la filière générale et AOP. Ces critères sont des constitutifs intrinsèques (directement liés aux produits alimentaires) de la qualité du lait et des produits laitiers pour moitié mais aussi extrinsèques (critères de qualité liés aux systèmes d'élevage et au secteur agroalimentaire dans son ensemble). Les critères relatifs à la santé et à la proximité / au local, sont également cités les différents types d'acteurs (5/17).

D'autres éléments ressortent également selon les différents types d'acteurs. Les acteurs des AOP citent plus fréquemment le lien à l'image, l'histoire, le patrimoine et le savoir-faire, le lien au lait cru et au microbiote (7 acteurs représentant des producteurs, transformateurs et distributeur). Les représentants des producteurs et transformateurs des filières générale et AOP se réfèrent aux critères de paiement du lait à la qualité, incluant la composition physico-chimique et microbiologique dès lors que l'on questionne la notion de qualité des produits laitiers (7 acteurs). Enfin, sont fréquemment cités le prix payé par le consommateur (6 acteurs représentants des producteurs, de la distribution et des associations citoyennes), la performance socio-économique de la vache et de l'exploitation et de la juste rémunération de l'éleveur (4 acteurs représentant des producteurs et transformateurs). Deux items sont cités par 3 acteurs représentants de l'aval de la filière (transformateurs, distributeurs et représentants d'associations consuméristes) en lien avec la qualité finale du produit : le circuit court et l'emballage du produit laitier.

### 2.2-PERCEPTION DES ENJEUX ET MENACES FUTURES

Les points de vue concernant les perspectives d'évolution de la qualité sont multiples. La préoccupation environnementale est perçue comme un enjeu majeur, partagé par tous les acteurs. Par ailleurs, le besoin de transparence et visibilité sur l'élevage et la transformation par le consommateur, ressort comme un enjeu majeur et partagé par tous. L'un des enjeux actuels montants relève des questions autour du bien-être animal. La naturalité des produits et la simplification des recettes, sont également perçues comme des questions montantes. Enfin, la substitution des produits laitiers par les produits végétaux ou de synthèse, est considérée comme une menace future pour les produits laitiers, au regard de certains acteurs.

### 2.3-PERCEPTION DU LIEN AVEC LES MODES D'ELEVAGE

De nombreux éléments sont cités spontanément par les acteurs, en lien entre l'élevage et les critères de qualité du lait et des produits laitiers. Il s'agit plutôt de pratiques mises en relation avec les critères de qualité du lait et des produits laitiers, plutôt que des systèmes d'élevage.

Les pratiques les plus souvent citées en lien avec la qualité du lait et des produits laitiers sont l'alimentation des animaux et l'impact sur la qualité organoleptique, cité par 9 acteurs, représentant tous les types d'acteurs. Il s'agit par exemple du lien entre prairies naturelles et goût, lait plus ou moins gras en été et en hiver et incidence sur la texture et le goût. Puis le lien entre alimentation des animaux et nutrition humaine / santé est cité. Notamment l'exemple le plus fréquent est celui du pâturage ou Bleu Blanc Cœur et des oméga 3, cité par 9 acteurs, représentant des producteurs, transformateurs des filières générale et AOP, et des associations citoyennes. Le lien entre alimentation des animaux et aptitude technologique et / ou culinaire, ressort également, reflétant plus une préoccupation technique des professionnels de la filière laitière dont AOP, cité par 7 acteurs, producteurs, transformateurs, distributeurs. Enfin, le lien entre pratiques agricoles et résidus de contaminants dans les produits laitiers, faisant références aux résidus d'antibiotiques, résidus de pesticides ou bien chlorates dans les laits et les produits laitiers, est cité par 7 acteurs, producteurs, transformateurs, distributeurs et associations consuméristes.

### 2.4-ATTENTES DES ACTEURS SUR LES CRITERES ET ANALYSES RELATIVES AU PROJET INTAQT

Les acteurs interviewés étaient globalement réceptifs aux critères qui seront analysés (critères sensoriel, nutritionnel et sanitaire), que ce soient les producteurs et les transformateurs de la filière dont les AOP, les distributeurs et les associations consuméristes. Pour 8/17 d'entre eux, les critères et analyses proposées convenaient en l'état ou ils ne se prononçaient pas.

Les acteurs souhaiteraient intégrer différents critères au projet, notamment les critères technologiques, de bien-être animal, de diversité microbienne, environnementaux, de perception du consommateur, notamment le lien à l'acte d'achat (cf. tableau 2 ci-après).

Certains acteurs ont proposé d'intégrer les analyses de résidus d'antibiotiques (5 acteurs, représentant les producteurs, les transformateurs et les associations citoyennes), les résidus de pesticides (3 acteurs, représentants des producteurs et transformateurs), les chlorates (2 acteurs représentants des transformateurs). Quelques analyses ont été citées par des représentants de transformateurs (OGM, variants des caséines, additifs de réduction de méthane, analyses de paiement du lait à la qualité, indicateurs du bien-être animal mesurables sur la matrice lait).

Trois points de vigilance importants, sont indiqués par des acteurs de la transformation. Le premier point concerne des réserves sur l'inclusion d'un critère microbiotique très ambitieux à intégrer, du fait des nombreuses interrogations sur l'applicabilité des données étudiées. Le deuxième point de vigilance relève de l'interprétation qui peut être faite des résultats des tests consommateurs et jurys experts. Ces derniers étant très technologie-dépendants, il s'agit d'être prudents quant à l'interprétation que l'on peut en faire, voire l'extrapolation. Enfin, un dernier point de vigilance concerne la difficulté de transposer des essais en outils pilote recherche et développement sur les outils industriels : les résultats peuvent notamment diverger sur les textures.

### 2.5-ATTENTES DES ACTEURS SUR LES ELEMENTS RELATIFS A L'ELEVAGE

Les 3 systèmes initialement choisis sont présentés aux acteurs. Ces derniers ne surprennent pas les acteurs, ou certains acteurs n'ont pas l'expertise pour répondre à cette question.

Le projet prévoit d'intégrer 3 systèmes supplémentaires pour la France, selon les attentes des acteurs. Les attentes les plus partagées incluent tout d'abord l'étude de l'herbe sous différentes formes : pâturage de prairies naturelles *vs.* artificielles, foin, ensilage, enrubannage, affouragement en vert), l'inclusion de protéines alternatives au soja. Par ailleurs, des attentes sont exprimées sur des systèmes incluant du maïs sous différentes formes : ensilage de maïs avec différentes proportions, intégration de corn-gluten, intégration d'épis de maïs…. Plusieurs attentes convergent autour de l'inclusion d'éléments relatifs à l'autonomie alimentaire dont les protéines alternatives au soja, des systèmes favorisant l'autonomie alimentaire globale de l'exploitation et / ou l'autonomie protéique (type et forme des protéines à tester), des systèmes valorisant les co-produits (drèches et pulpes…). Quelques attentes sont spécifiées par rapport à la situation géographique tels que l'étude de systèmes de montagne (Alpes / Jura). Enfin certaines attentes font écho aux pratiques agroécologiques (exploitations certifiées Haute Valeur Environnementale, scénarios de transition écologique, « agriculture régénératrice »), et des pratiques alternatives (homéopathie, usage des huiles essentielles…).

Un des acteurs indique qu'il serait pertinent de regarder le type de système étudié, au regard du type de valorisation du lait (lait UHT, beurre, crème, fromage…).

Quatre acteurs (transformateurs, association citoyenne) craignent que les systèmes étudiés ne soient pas suffisamment représentatifs du fait d'un petit nombre de fermes par système.

### 2.6-ATTENTES ET CRAINTES DES ACTEURS SUR LES OUTILS DE SCORE MULTICRITERE

La perception globale de l'outil de scoring multicritère à développer est très contrastée parmi les acteurs interviewés. Sept acteurs sur 17 n'y trouvent pas d'intérêt et n'en voient pas l'utilité. Certains trouvent l'outil dangereux, en ce qu'un score de sécurité sanitaire peut éveiller des angoisses et une perte de confiance du consommateur. Plusieurs craintes sont émises à l'égard de l'outil de scoring multicritère. La première concerne la complexité de l'outil, rentrant dans un champ très technique et sa difficulté de compréhension. La deuxième relève de la multiplicité des outils de scoring (Nutriscore, Note globale, écoscore…) qui risque de perdre le consommateur. La troisième interroge de manière générale l'utilité du scoring, d'un point de vue consommateur.

A l'inverse, dix des 17 acteurs y trouvent un intérêt, notamment les producteurs de lait et les acteurs des AOP. Pour plusieurs acteurs, l'intérêt perçu de cet outil est la possibilité de nuancer, et de contrecarrer le Nutriscore pour lequel un risque identifié est de voir l'interdiction de publicité des produits classés D ou E.

L'intérêt perçu par un des acteurs est également, la possibilité de fournir des arguments pour les décideurs politiques pour lier questions de santé publique et alimentation. Deux des acteurs d'entreprises de transformation indiquent qu'une des utilités envisagées est l'utilisation intra-entreprise, pour des techniciens et commerciaux d'entreprises de transformation. Un des acteurs indique qu'il s'agit de vérifier si des outils intra-entreprises n'existent pas déjà.

Les attentes des acteurs concernent en premier lieu la définition de la cible de l'outil, cité par 7 acteurs, producteurs et transformateurs de la filière laitière dont AOP, et les associations consuméristes. Aussi, plusieurs acteurs demandent d'avoir des « traductions différentes » de l'outil multicritère selon le public visé, et raisonner l'outil en ayant une capacité adaptative et évolutive. Le besoin de simplifier et vulgariser l'outil est clairement énoncé par 4 acteurs.

| Attente d'inclusion des critères suivants : | Nombre de citations | Type d'acteur | Filière générale AOP |
|---|---|---|---|
| Technologique | 6 | Producteur, Transformateur, Distributeur | Tous |
| Microbiologique (diversité microbienne) | 3 | Producteurs, Distributeur | AOP |
| Bien-être animal | 4 | Producteur, Transformateur, Association citoyenne | Tous |
| Environnemental | 2 | Transformateur, association citoyenne | Générale |
| Perception du consommateur, lien à l'acte d'achat | 2 | Transformateur | Tous |
| Eléments en lien avec la Géobiologie | 1 | Producteur | AOP |
| Naturalité | 1 | Producteur | AOP |
| Caractéristiques liées à l'usage du produit | 1 | Asso citoyenne | AOP |

**Tableau 2** : Attentes des acteurs sur les critères à inclure dans le projet INTAQT

Pour deux acteurs, transformateur et distributeur, il serait important de prendre en compte la portion de produit laitier habituellement consommée dans l'outil, par opposition au Nutriscore pour lequel le score est établi pour 100g de produit. A la question des dimensions à intégrer à l'outil multiscore, tous les types acteurs ont cité le critère environnemental (8 fois). L'inclusion dans l'outil d'un critère lié à la perception sociétale et aux aménités positives induites (maintien de l'activité économique du territoire, ouverture des paysages…) est mentionnée par 4 acteurs représentant les producteurs et les transformateurs. L'intégration du critère de diversité microbienne est demandée par 3 acteurs représentants des AOP.
Par ailleurs, 2 des acteurs (producteurs), souhaitent voir intégrer au sein de l'outil le paramètre relatif aux résidus d'antibiotiques, dans le but de mettre en avant la pratique vertueuse de la filière laitière avec le contrôle systématique de chaque tournée et producteur. Un des acteur (association citoyenne) est intéressé par l'inclusion des bactéries antibiorésistantes, dans le score de sécurité sanitaire.

## 3-DISCUSSION

La consultation des acteurs, du producteur au consommateur a permis de confirmer l'intérêt porté sur les attributs sensoriels, sanitaires et nutritionnels des produits laitiers. En effet, si la maîtrise sanitaire des produits laitiers a été une priorité historique en France, les attentes en matière sanitaire demeurent fortes à ce jour, marquées en partie par la crise de confiance qu'a pu connaître le secteur de l'élevage, après la crise de vache folle (Delanoue et al., 2018). Par ailleurs, Senan (2022) montre que la considération par le consommateur de la qualité nutritionnelle / santé arrive en seconde place après le prix des produits, ce qui corrobore les attentes d'une partie des acteurs. Le projet INTAQT apportera un regard objectivé sur le lien entre les modes de production et les différentes facettes de la qualité intrinsèque des produits.
La consultation des acteurs a mis en exergue des attentes partagées entre tous types d'acteurs, avec des angles d'approches différents, sur l'inclusion des questions environnementales. Sont questionnées les performances de ces critères extrinsèques au regard de la diversité des modes de production. A ce titre, plusieurs auteurs questionnent l'équilibre à trouver des élevages entre compétitivité, défis sociétaux au travers des modèles de production et des questions environnementales et durabilité (Guesdon et Perrot, 2013 ; Faverdin et Leroux, 2013 ; Filleux et al., 2021). Dollé et al. (2013), montrent que performances environnementales et économiques ne sont pas antinomiques. De même, Delfosse et Rieutort (2018) montrent que les produits de l'élevage, notamment dans les systèmes AOP, ont un rôle multifonctionnel, et en particulier un rôle environnemental, au travers de l'entretien des espaces (réduction des incendies), du paysage et du maintien de la biodiversité. Une méthode d'évaluation conjointe sur la performance environnementale et les composantes sensorielles, technologiques, santé et nutritionnelle de la qualité des produits laitiers a été mise au point dans le projet QUALENVIC. Cependant, une adaptation en vue de son usage opérationnel semble nécessaire (Botreau et al., 2018).
En outre, l'inclusion du critère extrinsèque de bien-être animal ressort comme une attente forte de tous les types d'acteurs, en vue de son objectivation. Ceci fait écho aux propos de Magdelaine et al. (2018) qui ont montré que si la majeure partie de la population affirme ne pas rejeter l'élevage intensif, elle est sensible aux propos des associations de protection animale. Perrot et al. (2018) ont montré que la pratique du pâturage représente 54% des réponses des citoyens comme critère essentiel du bien-être des vaches laitières, ainsi, la diversité des exploitations en France, et leurs pratiques sont globalement en phase avec les attentes du consommateur et du citoyen. Ceci fait écho, dans le projet INTAQT à l'attente forte dans les systèmes d'élevage d'inclure des éléments autour de l'herbe et du pâturage. L'originalité de la consultation multi-acteurs au sein du projet INTAQT est de s'interroger sur le lien avec les différents critères de qualité finale des produits, à l'échelle française mais également européenne.

## CONCLUSION

Pour la plupart des acteurs interviewés, le projet INTAQT apportera des éléments analytiques intéressants sur des produits laitiers largement consommés. Les principales attentes concernent l'inclusion des critères technologiques, microbiologiques, de bien-être animal et d'environnement, ainsi que l'intégration parmi le critère de sécurité sanitaire, des résidus d'antibiotiques (stratégie de réassurance), de pesticides et des chlorates. L'étude de différents systèmes d'élevages intéresse la plupart des acteurs, avec une grande diversité de propositions. Les points de vue convergent sur l'étude de protéines alternatives au tourteau de soja « déforestant », le critère environnemental étant une attente sociétale forte. De nombreuses suggestions ont par ailleurs porté sur l'étude de l'herbe sous toutes ses formes. Enfin, l'outil de score multicritère divise les acteurs. Certains d'entre eux y voient une opportunité de « contrecarrer » le Nutriscore. D'autres redoutent d'apporter une information supplémentaire complexe à comprendre pour le consommateur. Dans tous les cas, il s'agit de bien définir la cible, et les messages à faire passer.

*Le projet INTAQT fait l'objet de financements de l'Union européenne du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020, sous le numéro d'accord de subvention H101000250.*

**Botreau, R., Beauchet, S., Laurent, C., Hulin, S., Hérisset, R., Thiollet-Scholtus, M., Kanyarushoki, C., Boucault, P., Renaut-Gentié, C., Jourjon, F., 2018.** Innovations Agronomiques. 63. 23-42
**CNAOL, INAO 2021.** Chiffres clés 2020 des produits laitiers AOP et IGP. https://www.produits-laitiers-aop.fr/le-label-aop/les-chiffres-cles/
**CNIEL, 2022**. In CNIEL. L'économie laitière en chiffres. Edition 2022. 203p.
**Delanoue, E., Dockès, A.C., Chouteau, A., Roguet, C., Philibert, A., 2018**. INRA Prod. Anim. 31 (1). 51-68
**Delfosse, C., Rieutord, L., 2018**. Géocarrefour. 92/3. 1-10
**Dollé, J.B., Faverdin, P., Agabriel, J., Sauvant, D., Klumpp, K., 2013**. Fourrages. 215. 181-191
**Faverdin, P., Leroux, C., 2013**. INRA Prod. Anim. 26 (2). 71-76
**Filleux, S.L., Peyraud, J.L., Caquet, T., 2021.** La revue INRAE. 56-77
**Guesdon, J.C., Perrot, C., 2010**. Bull Acad Vét France. 63 (1). 67-71
**Kling-éveillard, F., Frappat, B., Couzy, C., Dockès, A.C., 2012**. In INSTITUT DE L'ELEVAGE (Editeur), Les enquêtes qualitatives en agriculture : de la conception à l'analyse des résultats. Paris, France. 21-42.
**Magdeleine, P., Roguet, C., Dockès, A.C., Delanoue, E., 2018.** Tema. 47. 1-8
**Perrot, C., Le Doare, C., Depeyrot, J.N., 2018**. Renc. Rech. Ruminants. 24. 437-441
**Senan, I., 2022**. Conférence Grand Angle Ovin, édition 2022. https://idele.fr/detail-article/gaovin-2022-quelles-reponses-des-entreprises-de-la-grande-distribution-aux-evolutions-des-attentes-societales

# Des éleveurs de races bovines locales s'emparent des questions des qualités intrinsèques et extrinsèques de leur viande en collaboration avec des chercheurs

FARRUGGIA A. (1), COUVREUR S. (2), NORMAND J. (3), CHAABOUNI R. (4), ELLIES-OURY MP. (5, 9), SIGNORET F. (6), DROUET M. (7), DENOYELLE C. (8), GRAULET B. (9), (1), RIGA P. (10), PAPILLON S. (5), POUSIN M. (6), BARDOU-VALETTE S. (9), CHADEYRON D. (9), PICARD B. (9), GRUFFAT D. (9), LISTRAT A., (9), MORINIÈRE C. (4) BERGONSO M. (4), BOUTIFARD V. (1), DURAND D. (9)

(1) INRAE, DSLP, F-17450, Saint Laurent de la Prée, France
(2) URSE - Ecole Supérieure d'Agriculture, INRAE, 49007 Angers, France
(3) Institut de l'Elevage - Service Qualité des Carcasses et des Viandes, 23 rue Jean Baldassini, 69364 Lyon cedex 7, France
(4) Fédération des Races de Bretagne, GIE Elevages de Bretagne, Rue Maurice le Lannou, 35042 RENNES Cedex, France
(5) Bordeaux Sciences Agro, 1 cours du général de Gaulle, CS 40201, 33175 Gradignan cedex
(6) Association pour la Valorisation de la Race Bovine Maraîchine et des Prairies Humides, 79 510, Coulon, France
(7) Institut de l'Elevage - Service Qualité des Carcasses et des Viandes, Route d'Epinay, 14310 Villers-Bocage
(8) Institut de l'Elevage - Service Qualité des Carcasses et des Viandes, 149 rue de Bercy, 75595 Paris cedex 12, France
(9) Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle
(10) CREGENE - Conservatoire des ressources génétiques du Centre Ouest Atlantique, 79 510, Coulon, France

**RESUME -** Cette communication présente et croise les démarches de co-construction, les résultats biotechniques et les enseignements de 3 projets de recherche participative visant à caractériser les qualités intrinsèques et extrinsèques de la viande bovine de races locales. Ces projets ont été menés avec 3 collectifs d'éleveurs : l'association des éleveurs de Maraîchines, la Fédération des Races de Bretagne et les associations de races mixtes bretonnes, et le syndicat de défense de l'AOP Maine Anjou. Les résultats de qualités sensorielles et nutritionnelles confirment ceux obtenus sur les races à grands effectifs sur les effets de alimentation à l'herbe par exemple mais fournissent aussi des résultats originaux comme ceux sur la viande de veau rosé. Ils démontrent que les viandes des races locales étudiées présentent des qualités intrinsèques qui ne les déprécient pas malgré des conformations des animaux moindres, voire qui s'avèrent meilleures sur le plan nutritionnel notamment sur la composition en acides gras ou le statut antioxydant. Les analyses réalisées ont permis de répondre aux questionnements des collectifs quant aux pratiques de finition ou aux singularités de la race. La communication pointe la mise en partage des connaissances et l'apprentissage collectif mais aussi la complexité de construire un protocole qui satisfasse pleinement les scientifiques et les éleveurs et qui permette à la fois une valorisation scientifique, et une appropriation des résultats par les éleveurs et les acteurs des filières.

# Breeders of local cattle breeds take up the question of the intrinsic and extrinsic qualities of their meat in collaboration with researchers

FARRUGGIA A. (1), COUVREUR S. (2), NORMAND J. (3), DENOYELLE C. (4), ELLIES-OURY MP. (5, 8), PAPILLON S. (5), POUSIN M. (6), SIGNORET F. (6), DROUET M. (7), BARDOU-VALETTE S. (8), CHADEYRON D. (8), PICARD B. (8), GRUFFAT D. (8), LISTRAT A., (8), GRAULET B. (8), MORINIÈRE C. (9), CHAABOUNI R. (9) BERGONSO M., (9), BOUTIFARD V. (1), RIGA P. (10), DURAND D. (8)

(1) INRAE, DSLP, F-17450, Saint Laurent de la Prée, France

**SUMMARY –** This paper presents and crosses the co-construction approaches, the biotechnical results and the lessons learned from 3 participatory research projects aiming at characterizing the intrinsic and extrinsic qualities of beef from local breeds. These projects were carried out with 3 breeder groups: the association of Maraichine breeders, the Federation of Breeds of Brittany and the associations of mixed breeds of Brittany, and the syndicate for the defense of the PDO Maine Anjou. The results of sensory and nutritional qualities confirm those obtained on the breeds with large numbers of animals on the effects of feeding on grass for example but also provide original results such as those on the meat of pink veal. They show that the meat of the local breeds studied have intrinsic qualities that do not depreciate them despite the lesser conformation of the animals, and even prove to be better in terms of nutrition, particularly in terms of fatty acid composition or antioxidant status. The analyses carried out have made it possible to answer the questions raised by the breeder groups regarding fattening practices or the breed's particularities. The communication points to the sharing of knowledge and collective learning, but also to the complexity of constructing a protocol that fully satisfies scientists and breeders and that allows both a scientific valuation and an appropriation of the results by the breeders and the actors.

## INTRODUCTION

La plupart des travaux menés sur les qualités sensorielles et nutritionnelles des viandes bovines portent sur les races allaitantes à grands effectifs telles que la Charolaise ou la Limousine. A ces qualités intrinsèques de la viande, s'ajoute très souvent la notion de qualités extrinsèques (mode de production, bien-être animal, impact sur l'environnement), telle que définie par Lebret et Picard (2015). Pour les races à petits effectifs, peu d'études intégratives sur ces différentes dimensions de la qualité sont disponibles alors qu'elles aideraient les éleveurs à faire connaître et à valoriser leurs produits en circuit de proximité. Pour pallier ce manque de données, plusieurs collectifs d'éleveurs de bovins de race locale ont collaboré avec différentes structures de recherche et instituts techniques pour construire des projets de recherche participative.

L'objectif de cette communication est de présenter les questionnements et motivations des acteurs partenaires de ces projets, l'implication des éleveurs dans les choix et la construction des protocoles, les méthodes, les principaux résultats obtenus et leurs valorisations pour déboucher *in fine*

sur les enseignements que les acteurs tirent de ces expériences. Nous nous appuierons pour cela sur trois projets menés avec (1) l'Association pour la Valorisation de la Race Bovine Maraîchine et des Prairies Humides (Association Maraîchine) et la race Maraîchine essentiellement destinée aujourd'hui à la production de viande (2) la Fédération des Races de Bretagne (FRdB) et les associations de races mixtes bretonnes (Armoricaine, Bretonne Pie Noire (BPN) et Nantaise), (3) le syndicat de défense de l'AOP Maine Anjou (syndicat AOP) et la race allaitante Rouge des Près.

## 1. LES COLLECTIFS ET LES PROJETS

L'association Maraîchine compte en 2020 127 éleveurs. Le projet « Valoriser la Maraîchine pour conjuguer viande de qualité et préservation des milieux littoraux » (« projet Maraîchine » dans la suite) a été initié par l'unité expérimentale INRAE de Saint-Laurent-de-la-Prée (UE INRAE SLP) en 2018. Il a été construit avec des chercheurs INRAE en collaboration avec l'Ecole supérieure d'agriculture (ESA) d'Angers, la Ligue de protection des oiseaux de Vendée et les éleveurs du conseil d'administration de l'association Maraîchine. Il a été piloté de 2018 à 2021 par un comité de pilotage comprenant 6 membres de la Recherche, 5 éleveurs et un consommateur qui ont été activement impliqués durant toute la durée du projet. L'objectif initial a émané des chercheurs qui ont proposé d'étudier les qualités intrinsèques et extrinsèques de la viande dans l'objectif de produire des éléments quantifiés au service de la vente en circuit court. Il s'agissait d'analyser si les modalités d'élevage et les types d'animaux à l'origine de la viande « Maraîchine » fournissaient une viande aux caractéristiques physico-chimiques, organoleptiques et nutritionnelles intéressantes pour le consommateur. Les éleveurs ont élargi ces objectifs 1/ en mettant en avant l'analyse de la place de la biodiversité dans les qualités extrinsèques, 2/ la caractérisation de la rusticité de leur race, et 3/ en faisant valoir une perspective d'apprentissage pour « savoir parler de leur viande » tout particulièrement dans le contexte de défiance de la viande rouge vis-à-vis des préoccupations en matière de santé et d'environnement des consommateurs.

La Fédération des Races de Bretagne rassemble environ 500 éleveurs professionnels de plusieurs races locales bretonnes de ruminants et de monogastriques. Le projet « Co-construction de la valorisation des races locales bretonnes » (« projet races bretonnes ») a été initié à la demande d'éleveurs rassemblés en GIEE de 2017 à 2020. Les 35 éleveurs du GIEE ont été au cœur de toutes les étapes décisionnelles du projet. Ils souhaitaient d'une part, caractériser et objectiver la composition fine du lait et des viandes ainsi que les qualités organoleptiques de la viande de leurs races. La Fédération a fait appel à INRAE pour l'étude de la qualité du lait et à l'Institut de l'Elevage pour la viande.

Le syndicat de défense de l'AOP Maine Anjou comprend un collège de producteurs, un collège d'apporteurs (groupements et négociants) et un collège de transformateurs (abatteurs et distributeurs) pour un total de 93 éleveurs engagés dans l'appellation en 2019. Le projet « Compétitivité locale et action publique » (« projet AOP Maine Anjou ») a été construit par les chercheurs de l'ESA en partenariat avec le syndicat AOP. Pour les chercheurs, il s'agissait de comprendre les pratiques des éleveurs et les liens à la qualité de la viande telle qu'elle avait été défendue dans le dépôt du dossier AOP; un animal (vache de réforme ou bœuf) n'étant vendu sous AOP qu'à la condition de respecter un poids minimum, un état d'engraissement moyen, une couleur rouge, un persillé moyen, et une tendreté élevée. Pour le syndicat AOP, les objectifs étaient de mieux comprendre les liens entre pratiques et qualité pour éviter des déclassements de carcasses, d'identifier les marges de manœuvre en termes de pratiques permises par le cahier des charges, et d'identifier les nuances de typicité en termes de qualité de viande.

## 2. LES PROTOCOLES ET LEUR MISE EN OEUVRE

Dans le projet Maraîchine, le protocole expérimental a été élaboré principalement lors d'un séminaire associant les éleveurs du comité de pilotage et les chercheurs. Les chercheurs ont ensuite géré l'entièreté de sa mise en œuvre. Il a été décidé de travailler sur l'effet du type de finition sur la qualité de la viande (herbe pâturée vs concentrés), qui constitue un questionnement récurrent pour les éleveurs (Roche *et al*., 2022). Les études ont porté sur le bœuf, en tant que modèle de la viande d'animaux adultes, et sur le veau rosé, ces deux produits étant les plus commercialisés par les exploitations. Toutes les mesures concernant la viande ont été effectuées sur le muscle *Rectus abdominis.* Ce choix a été dicté par le fait que son prélèvement à l'abattoir n'induit pas de forte dépréciation de la carcasse et donc minimise les pertes économiques pour les éleveurs fournisseurs. De plus, étant considéré comme représentatif de la carcasse, il est bien étudié dans la littérature. Les prélèvements ont été faits sur 18 bœufs (10 finis à l'herbe vs 8 aux céréales ; âge moyen 46 mois+/-10,6) et 30 veaux (15 finis à l'herbe vs 15 aux céréales ; âge moyen 7 mois +/- 1.1), issus de 13 élevages différents répartis dans 3 départements (17, 79 et 85) et abattus dans 5 abattoirs. Les très nombreuses mesures réalisées visaient à analyser les caractéristiques biochimiques et rhéologiques des muscles (typage des fibres, teneur en collagène, force de cisaillement), leurs propriétés sensorielles par un jury d'experts entraînés et par un jury « amateur », et leurs propriétés nutritionnelles (teneurs en lipides, en fer héminique, en antioxydants et en vitamines). En parallèle, des enquêtes ont été menées auprès de 25 éleveurs sur leurs pratiques d'élevage et de vente ainsi que sur leurs représentations vis-à-vis de la race, de la viande, des modes d'élevage, du marais et de la biodiversité.

Dans le projet races bretonnes, les protocoles d'études sur la viande ont été décidés conjointement entre les éleveurs impliqués dans le projet, l'Institut de l'Elevage, et les animatrices de la FRdB. Les études ont porté sur le bœuf en tant que produit le plus commercialisé avec le veau. Les prélèvements à l'abattoir ont été réalisés sur le *Longissimus thoracis*, muscle le plus décrit dans la littérature, récupéré sur 27 bœufs, avec 12 bœufs BPN de 30 à 48 mois, 7 bœufs de race Armoricaine de 42 mois en moyenne, et 8 bœufs de race Nantaise de 60 mois en moyenne, issus de 21 élevages. Les animaux étaient uniquement nourris à l'herbe et au foin. Le choix des animaux et les prélèvements à l'abattoir ont été assurés par la FRdB. L'Institut de l'Elevage a réalisé les analyses portant sur les qualités nutritionnelles (teneur en lipides, composition en AG et teneur en fer héminique) et sensorielles (dégustation par un jury d'experts entraînés). Les viandes des races bretonnes ont été comparées à un témoin, soit une viande de race bouchère spécialisée. Sous l'impulsion des éleveurs, des enquêtes ont été réalisées autour de leurs pratiques et de leurs données techniques et comptables et ont abouti à une caractérisation de leurs itinéraires techniques et de leur empreinte environnementale.

Dans le projet AOP Maine Anjou, les chercheurs ont élaboré le protocole et assuré la logistique des prélèvements. Le syndicat AOP a été impliqué dans la construction des partenariats pour sa mise en œuvre. Le choix de la catégorie d'animal s'est porté sur la vache de réforme dont est issue très majoritairement la viande de la filière. Ainsi, 111 vaches de réforme ont été sélectionnées parmi 45 élevages se différenciant par leurs pratiques de finition en termes de fourrage, quantité de concentré et durée de la phase de finition (Couvreur *et al*., 2013). Au final, 4 pratiques de finition ont été distinguées : une finition longue (142 j) avec un mélange foin/enrubanné et concentré, une finition courte (80 j) au foin ou enrubanné et concentré; une finition moyenne (107 j) au foin avec concentré; une finition courte (86 j) à l'herbe pâturée et concentré. Les animaux ont été abattus dans un seul abattoir. Les analyses se sont concentrées sur l'adiposité de la carcasse (rapport gras/muscle), les caractéristiques

musculaires (type et taille des fibres musculaires et métabolisme énergétique), et les qualités sensorielles au travers de mesures chimique et mécanique de la tendreté (teneur en collagène, force de cisaillement), de colorimétrie et de l'appréciation d'un jury entraîné. Les qualités nutritionnelles n'ont pas été abordées. Toutes les mesures ont été faites sur les deux muscles : *Longissimus thoracis*, et *Rectus abdominis*. Les données individuelles sur les pratiques de finition et les caractéristiques animales ont été collectées auprès des éleveurs ayant fournis les animaux.

## 3. RESULTATS BIOTECHNIQUES

Les résultats ont été analysés tout d'abord par rapport aux valeurs habituellement rapportés par la littérature chez des bovins « adultes » de race à viande, ces valeurs étant issues de la bibliographie ou des bases de données INRAE, puis dans un second temps, en fonction des questions spécifiques posées par les collectifs.

### 3.1. LES CARCASSES

Le poids de carcasse moyen des bœufs échantillonnés est de 409 kg en Maraîchine, 396 kg en Armoricaine, 453 en Nantaise et 263 en BPN. Ces poids sont dans la gamme de ceux des bœufs charolais (n=852, https://doi.org/10.15454/UVJH39), hormis pour les bœufs BPN. En revanche, la conformation des carcasses les différencie nettement. A titre d'illustration, les bœufs maraîchins de l'étude ont été classés O pour 39% de l'effectif et R pour 61%, tandis que les bœufs charolais de la base INRAE ont été classés R pour 58% des effectifs et U pour 42% (n=544). Les vaches Maine Anjou de 3 à 10 ans avec des poids de carcasse moyen de 438 ± *36,1* kg sont plus lourdes que les vaches de réforme de la base (401 ± 43,3 kg) (n=831).

### 3.2. TYPE DE FIBRES

Chez des animaux adultes de race à viande, la répartition du type de fibres selon leurs caractéristiques physicochimiques et métaboliques est la suivante : 34% de fibres de type I (lente oxydative), 38% de type IIA (oxydo-glycolytique) et 28% de type IIX (rapide, glycolytique). La race Rouge des Prés est caractérisée par des muscles plus oxydatifs (avec 37,9% de fibre de type I), cette proportion étant encore plus importante dans la race Maraîchine avec près de 42% de fibres de type I. Cette orientation de la composition en fibres des muscles tend à montrer que les deux races étudiées ici se rapprochent plus des races rustiques (Salers, Aubrac) que des races à viande (Picard *et al.,* 2007). La finition à base d'herbe renforce cette orientation, les muscles des bœufs et des veaux Maraîchins devenant de type plus « lent et oxydatif », confortant ainsi les résultats de la littérature (Jurie *et al.,* 2006).

### 3.3. QUALITES NUTRITIONNELLES

Les muscles des animaux de race Maraîchine ou bretonnes présentent des teneurs en lipides de l'ordre de 4 à 5 % très comparables à celles rapportées dans les races à viandes pour les mêmes muscles (aux environs de 4%; Gruffat *et al*.; 2015). La composition détaillée de ces lipides montre que leurs muscles sont nutritionnellement plus intéressants avec moins d'AGS totaux (42-43 vs 47%), et plus d'acides gras monoinsaturés (AGMI) (45-48 vs 43%) et des rapports oméga 6/oméga 3 qui varient entre 1,8 à 2,2 pour les races bretonnes et de 2,9 (herbe) à 3,9 (concentrés) pour la race Maraîchine contre 4,5 pour l'animal adulte de race à viande. Cependant, si l'on considère les acides gras les plus bénéfiques pour la santé humaine, seule la finition à l'herbe a un effet significatif en multipliant les teneurs en EPA (acide eicosapentaénoïque) et DHA(acide docosahéxanoïque) par 2 par rapport à une finition aux concentrés.
Les défenses anti oxydantes mesurées au niveau des muscles sont nettement supérieures chez les bœufs Maraîchins par rapport aux adultes de race à viande. Ainsi, la teneur en vitamine E (3,3 vs 1,9 g/100 g muscle), en catalase (12,2 vs 8,7 UI) et en glutathion peroxydase (0,3 vs 0,05 UI) garantissent aux muscles des Maraîchins une meilleure stabilité oxydative au cours des processus de conservation, cuisson et digestion, éléments essentiels pour la santé de l'Homme (Gobert *et al*., 2013). La conduite à l'herbe renforce cette caractéristique, notamment par l'apport de vitamine E (6,0 vs 3,3 g/100 g muscle) chez les bœufs Maraîchins, comme cela a été montré sur les autres races dans la littérature.

### 3.4. QUALITES SENSORIELLES

Au cours des séances de dégustation organisées avec des jurys entraînés, la viande des veaux Maraîchins finis à l'herbe a été jugée significativement moins tendre et plus rouge que celle des veaux engraissés avec des concentrés. En revanche le jury amateur n'a pas fait de différences entre les viandes de veaux issus des deux types de finition. Ce même jury a toutefois significativement distingué le filet de bœuf de Limousine du filet de bœuf Maraîchine. Les résultats ont été plus démonstratifs lors des dégustations sur les races bretonnes par comparaison à la viande bouchère spécialisée. Les 3 races ont été jugées significativement plus juteuses en première jutosité en bouche et plus pigmentée, avec une couleur à cœur plus proche du saignant à cuisson équivalente, aussi tendre pour l'Armoricaine et la BPN, et avec une flaveur supérieure, une odeur de « grillé » et « d'herbe » plus prononcée et une meilleure persistance aromatique pour la BPN. Pour la viande Rouge des Prés, les analyses ont conforté les qualités mises en avant par l'AOP Maine Anjou en termes de meilleure tendreté, de viande plus rouge, avec plus de persillé, et une persistance aromatique plus forte (Couvreur *et al*. 2013). Pour les vaches de réforme de cette race, les finitions longues avec des niveaux de concentré moyens ont favorisé le persillé alors que les finitions courtes très riches en concentré ont favorisé le gras de carcasse et le marbré avec un risque de déclassement.

### 3.5. QUALITES EXTRINSEQUES

Les conditions de production de ces élevages rencontrent les aspirations des consommateurs. Dans les 3 projets, les races étudiées sont dans leur berceau d'origine et sont emblématiques de leur territoire. La viande des animaux de race Maraîchine et des races bretonnes est issue de systèmes herbagers ou de polyculture-élevage peu consommateurs en intrants et avec une part d'herbe importante. A titre d'illustration, les deux tiers des éleveurs enquêtés dans le projet Maraichine sont en agriculture biologique. L'alimentation des troupeaux donne priorité à l'herbe et à l'autonomie alimentaire avec la production de concentrés sur la ferme pour l'engraissement. Ces élevages permettent de valoriser de grandes étendues de prairies et notamment de prairies de marais riches d'une grande biodiversité faunistique et floristique dans le cas de l'élevage de vaches Maraîchine. Les éleveurs s'accordent sur la rusticité de leurs animaux et en particulier sur la facilité du vêlage qui ne nécessite pas d'assistance ainsi que sur leur résistance aux maladies qui occasionne de faibles recours aux médicaments. Le respect de l'environnement et de la valorisation de leur territoire est également présent chez les éleveurs. Les diagnostics d'empreinte carbone réalisés dans les fermes bretonnes ont démontré qu'elles émettaient 4 fois moins de $CO_2$ dans l'atmosphère que la moyenne nationale des fermes en vaches allaitantes (Fédération des races de Bretagne, 2019).
En revanche dans les 3 projets, les enquêtes ont aussi mis en évidence une variabilité importante des modes d'élevage et des pratiques au sein des exploitations. A titre d'illustration, La souplesse permise par le cahier des charges de l'AOP Maine Anjou peut amener certains éleveurs à mettre en place des pratiques assez éloignées de ce qui est défendu en termes d'histoire et de typicité par le syndicat de défense. On peut citer

par exemple la sélection d'animaux à fort développement musculaire alors que le syndicat défend une tradition d'animaux mixtes typés élevage, ou le développement de pratiques de pâturage avec de fortes complémentations en fourrage et concentré alors que le syndicat défend un savoir-faire pastoral avec peu de complémentation. Les enquêtes ont aussi révélé que les valeurs et les représentations portées par les éleveurs des races locales peuvent être très différentes. Dans le projet Maraîchine, quatre profils contrastés d'éleveurs ont ainsi été distingués vis-à-vis de la gestion du territoire, de l'alimentation des animaux et de l'attention portée à la biodiversité, mettant à jour des tensions entre différentes représentations de la sélection et de la valorisation des animaux (Sigwalt *et al*., 2019). Si certains éleveurs, par exemple, mettent en avant la capacité de la race à utiliser les fourrages grossiers à faible valeur nutritive et les végétations spontanées des zones humides et recherchent à engraisser leurs animaux avec de l'herbe, d'autres considèrent que seule une finition basée sur l'utilisation de méteil enrubanné ou des concentrés est acceptable.

### 3.6. VALORISATION DES RESULTATS

La valorisation académique sous forme d'articles scientifiques pilotée par les chercheurs est bien engagée voire terminée dans le projet AOP Maine Anjou. En revanche, la valorisation pour et par les acteurs des territoires en est à des étapes très différentes selon les projets. Dans le projet Maraîchine, les résultats ont été restitués auprès des éleveurs et des acteurs les plus impliqués mais n'ont pas encore été valorisés à une plus large échelle et notamment auprès de l'ensemble des éleveurs. Une diffusion des résultats sous forme de plaquette ayant pour cible les consommateurs des circuits de proximité et les élus est programmée. Il est prévu qu'elle soit élaborée avec un panel de consommateurs lors d'une manifestation en faveur des races locales. Dans le projet races bretonnes, après la restitution des résultats auprès des éleveurs, les associations de races ont souhaité produire des flyers avec une partie destinée au grand public et un feuillet « pour aller plus loin » pour un public averti. Un communiqué de presse a été diffusé à l'ensemble de la presse agricole. Des « conférences dégustées » ont été organisées à destination des éleveurs, bouchers, restaurateurs et journalistes dans le Finistère et l'Ille et Vilaine, associant la restitution des résultats sur la qualité des viandes à des séances de dégustation avec des binômes éleveur-restaurateur ou éleveur-boucher. D'autres actions sont prévues auprès des éleveurs afin d'améliorer les pratiques et l'organisation des débouchés. Dans le projet AOP, les résultats obtenus permettant de mieux cibler les animaux, d'améliorer les pratiques de finition et d'éviter les déclassements de carcasses ont été largement valorisés par le syndicat sous la forme de conseils techniques auprès des éleveurs. Suite à ces résultats, le syndicat a souhaité continuer son interaction avec les chercheurs pour aider à positionner la viande AOP Maine-Anjou entre tradition et modernité. Cela s'est traduit par un nouveau projet de recherche cette fois porté par le syndicat dont l'objectif était de développer le segment haut de gamme de la viande AOP et de construire avec INRAE les premiers outils de sélection sur des marqueurs génétiques de la tendreté et du persillé.

## DISCUSSION ET ENSEIGNEMENTS

Ces trois projets de recherche participative ont produit des résultats biotechniques sur les qualités intrinsèques des viandes de races locales qui confirment certains résultats de la littérature, notamment ceux afférents aux effets de l'alimentation à l'herbe. Ils ont aussi produit des connaissances originales comme celles obtenues sur la viande de veau rosé Maraîchin ou encore sur l'interaction entre la durée de finition et le dépôt du persillé dans le cas de la Rouge des Prés. Ils ont démontré que même si les conformations des animaux des races locales sont moindres que celles des races à viande majeure, leurs viandes présentent des qualités intrinsèques qui ne les déprécient pas, voire qui sont meilleures sur le plan nutritionnel pour certains paramètres, notamment la composition en acides gras ou le statut antioxydant.

L'intégration de l'ensemble des dimensions de la qualité s'est avérée cependant plus complexe que prévue, en particulier pour les qualités extrinsèques et leur périmètre. Cette difficulté renvoie à la nécessité pour ces races locales de la mise à disposition de méthodes et outils permettant d'authentifier les conduites d'élevage répondant à des spécifications ou cahiers des charges préétablis, telle que proposée par Lebret et Picard (2015). Néanmoins, il a été montré qu'au-delà d'être des viandes intéressantes en termes gustatif et de propriétés santé, elles ont aussi d'autres finalités, notamment la valorisation d'un territoire et qu'elles répondent aux enjeux de l'agroécologie d'aujourd'hui, rejoignant en cela l'idée de vache multifonctionnelle à haute qualité territoriale développée par Michaud (2003).

Ces projets ont globalement répondu aux attendus initiaux des collectifs : 1) des différences significatives entre les types de finition et une typicité de la race ont été mises en évidence dans le projet Maraîchine, 2) des différences de jutosité et de pigmentation ont été démontrées dans le projet races bretonnes comparativement à une race bouchère spécialisée considérée de haute qualité dans la filière française et des atouts nutritionnels ont été mis en évidence, et 3) les qualités mises en avant par l'AOP Maine Anjou ont été confortées et des éléments techniques d'accompagnement des éleveurs ont été clairement établis.

L'analyse croisée de ces trois projets a cependant mis en lumière d'autres enseignements quant aux atouts et contraintes de la recherche participative autour de la qualité de la viande. Les acteurs se sont fortement impliqués dans la construction et/ou la mise en œuvre des protocoles mais cette approche collective a impliqué des choix importants pour les chercheurs comme pour les éleveurs. Les questions de qualité intrinsèque ont été abordées *in situ* à partir d'animaux provenant des exploitations, ce qui complexifie énormément la logistique de sélection des animaux et de prélèvements et conduit à des compromis entre faisabilité technique, coût et significativité scientifique, en particulier sur le nombre d'animaux par traitement retenu et sur les catégories d'animaux explorées. A titre d'exemple, le choix du modèle « bœuf » en tant que « représentant » des animaux adultes n'a pas fait l'unanimité chez les éleveurs de vaches Maraîchines mais il permettait une meilleure maitrise de l'effet de l'âge. A l'inverse, le modèle « vache » dans le projet AOP avait contrarié les chercheurs qui craignaient de ne pas pouvoir exploiter les résultats du fait d'une trop grande variabilité attenue entre individus. De même, le souhait des éleveurs de travailler sur plusieurs races locales bretonnes en premier facteur n'a pas permis d'avoir des effectifs suffisants pour explorer plus finement l'effet du régime alimentaire au détriment des objectifs des scientifiques, même si les régimes semblaient assez homogènes entre les élevages.

La valorisation des résultats pour satisfaire l'ensemble des acteurs impliqués dans de tels projets ne va également pas de soi. Elle dépend en partie du degré de compromis accepté par les différents protagonistes sur le protocole et de leur implication dans son pilotage et sa mise en œuvre. Il peut en effet exister un décalage dans les attentes des partenaires, avec d'un côté, une volonté de mettre en avant des caractéristiques des races, et de l'autre, une prudence dans l'interprétation des résultats liée aux faibles effectifs et à la forte variabilité, comme c'est le cas dans le projet races bretonnes. Dans le projet Maraîchine et le projet AOP, si les chercheurs arrivent à fournir pour la communauté scientifique une production académique reconnue à partir des données obtenues, en revanche l'appropriation des résultats et l'apprentissage par les éleveurs et autres acteurs reste ardue au regard de la multitude des données de qualité obtenues associée à la complexité de leur interprétation. La production de documents à destination des éleveurs, consommateurs et acteurs de la filière, comme cela a été fait dans le projet races

bretonnes, semble une bonne piste mais avec la limite de ne pas être dans le champ de compétence et d'intérêt des chercheurs et d'être réservée aux personnes qui prennent le temps de lire. La médiation avec des « humains » a l'avantage de pouvoir s'adapter et d'être accessible au plus grand nombre. Elle implique cependant de viser soigneusement des temps de disponibilité des différents acteurs des filières de la viande et d'être pris en charge par les collectifs non chercheurs du projet, à l'image de ce qui a été mis en œuvre dans le projet races bretonnes avec les conférences dégustées.

Au final, ces projets ne produisent pas seulement des résultats biotechniques sur la qualité de la viande. Ils permettent aussi la confrontation des éleveurs au monde scientifique et vice versa, la mise en partage de connaissances et l'apprentissage collectif et ils font émerger d'autres questions au regard des résultats. Même si la qualité de la viande est un sujet complexe, il constitue aussi une « scène » au sein de laquelle les acteurs impliqués peuvent débattre collectivement des pratiques et des façons de la valoriser. Il est donc un objet de débat particulièrement propice à des travaux de recherche participative, permettant d'aborder, *via* le produit, les qualités extrinsèques attendues dans la transition agroécologique de l'élevage. Cette « scène » est d'autant plus active, que les races locales constituent des espaces de médiation pour expérimenter et discuter les trajectoires possibles de la race grâce à la diversité des éleveurs et à leur implication vis-à-vis de leur territoire. Les résultats de ces projets devraient contribuer à croiser et peut-être à fédérer des approches entreprises jusqu'alors territoire par territoire, à capitaliser les enseignements obtenus race par race et à soutenir l'intérêt des démarches agroécologiques en élevage.

*Les auteurs remercient la Fondation de France, les Régions Pays de Loire et Bretagne, le département d'Ille et Vilaine, le GIE élevages de Bretagne et le Syndicat de Défense de l'AOP Maine Anjou.*

**Couvreur S., Le Bec G., Micol D., Aminot G., Picard B. 2013.** Renc. Rech. Rum., 20, 165 -168

**Fédération des races de Bretagne, 2019.** Plaquette 32p.

**Gobert M., Damon M., Durand D. 2013.** Cahiers de Nutrition et Diététique, 48, 225-232

**Gruffat D., Picard B., Bauchart D., Micol D. 2015.** INRAE Prod. Anim., 28, 99-103

**Jurie C., Martin J.-F., Listrat A., Jailler R., Culioli J., Picard B. 2006.** Animal Science, 82, 415-421

**Lebret et Picard. 2015.** INRAE Prod. Anim., 28, 93-98

**Michaud D., 2003.** Courrier de l'environnement de l'INRA, 48, 45-52

**Picard B., Jurie C., Bauchart D., Dransfield E., Ouali A., Martin J.-F., Jailler R., Lepetit J., Culioli J. 2007.** Sciences des aliments, 27, 168-180

**Roche B., Farruggia A., Pousin M., Riga P., Chataigner C., Boutifard V., Prieur M., Roux P., Cooke A.S, Rivero M.J. 2022.** Ruminants, 2, 173-187

**Sigwalt A., Farruggia A., Couvreur S., Petit T., Roche B. 2019.** Forum Origin, Diversity and Territories, Dec 2019, Lausanne, Switzerland

# Mise au point d'équations basées sur le Moyen Infra Rouge pour estimer la fromageabilité des laits de vache en France

LAITHIER C. (1), EL JABRI M. (1), WOLF V. (2), GAÜZERE Y. (3), CUVILLIER I. (3), BUCHIN F. (3), ROLET-PECAUD O. (4), BEUVIER E. (4), TROSSAT P. (5), NOTZ E. (6), LECOMTE C. (7), LAURENT C. (8), GELE M. (1), REY-CADILHAC L. (8), GAUDILLIERE N. (2), GROSPERRIN P. (2)

(1) IDELE, 75012 Paris, France
(2) Conseil Elevage 25-90, 25640 Roulans, France
(3) ENILBIO, 39800 Poligny, France
(4) INRAE, URTAL, F-39800 Poligny, France
(5) ACTALIA, 39800 Poligny, France
(6) CTFC, 39800 Poligny, France
(7) Eliance, 75012 Paris, France
(8) Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

**RESUME**

La « fromageabilité » des laits destinés à la transformation fromagère, définie comme l'aptitude du lait à se transformer en fromage est un des critères de réussite des procédés de fabrication. Celle-ci est en lien direct avec la qualité des produits et son importance économique est majeure. Grâce à un premier projet FROM'MIR (2015-2018), des équations MIR (spectrométrie moyen infrarouge) d'estimation de la fromageabilité des laits, établies en contexte IGP/AOP franc-comtois, ont été mises au point pour la première fois en France sur la base de 420 laits issus d'élevages de vaches en race Montbéliarde des 3 échelles : laits individuels (250), laits de troupeaux (100), laits de cuve de fromagerie (70). Afin de consolider, voire d'améliorer les équations mises au point, d'autres données ont été acquises en France au travers de collaborations avec le consortium FROM'MIR. Les équations portant sur le critère de rendement fromager et sur l'aptitude à la coagulation enzymatique ont pu être développées sur l'ensemble des données (n=1332). Les équations FROM'MIR ont été consolidées avec l'apport de ces nouvelles données. Les nouvelles équations mises au point en élargissant le jeu de données sont ainsi valables quel que soit le contexte, IGP/AOP Franche Comté ou en dehors. Par ailleurs, les équations restent performantes quelle que soit la race, excepté pour la Jersiaise, Abondance et Tarentaise, en raison de faibles effectifs et/ou de laits à caractéristiques extrêmes. Pour ces 3 dernières races, les résultats méritent d'être approfondis en envisageant d'analyser d'autres laits. Les résultats obtenus laissent présager l'utilisation de ces équations pour d'autres races que la Montbéliarde à des fins d'évaluation génétique. La valorisation opérationnelle de ces nouveaux phénotypes issus du contrôle de performances est actuellement en discussion. Les éleveurs de race Montbéliarde bénéficient déjà d'outils pour la sélection génétique grâce à la mise en place d'une chaine d'évaluation génétique privative développée par le consortium FROM'MIR.

# Mise au point d'équations basées sur le Moyen Infra Rouge pour estimer la fromageabilité des laits de vache en France

LAITHIER C. (1), EL JABRI M. (1), WOLF V. (2), GAÜZERE Y. (3), CUVILLIER I. (3), BUCHIN F. (3), ROLET-PECAUD O. (4), BEUVIER E. (4), TROSSAT P. (5), NOTZ E. (6), LECOMTE C. (7), LAURENT C. (8), GELE M. (1), REY-CADILHAC L. (8), GAUDILLIERE N. (2), GROSPERRIN P. (2)

**SUMMARY**

The cheese-making ability, defined as the ability of milk to be transformed into cheese, is one of the criteria for the success of the manufacturing process. It is directly linked to the quality of the products and its economic importance is major. Thanks to a first FROM'MIR project (2015-2018), MIR (medium infrared spectrometry) equations for estimating the cheese-making ability of milk, established in the context of the Franche-Comté IGP/PDO, were developed for the first time in France on the basis of 420 milk from Montbéliarde breed cows on 3 scales: individual milk (250), herd milk (100), and cheese factory tank milk (70). In order to consolidate and even improve the equations developed, other data were obtained in France through collaboration with the FROM'MIR consortium. The equations concerning the cheese yield criterion and the aptitude for enzymatic coagulation were developed on all the data (n=1332). The FROM'MIR equations were consolidated with the addition of these new data. The new equations developed by expanding the data set are thus valid regardless of the context, Franche Comté PDO/IGP or not. Moreover, the equations remain efficient whatever the breed, except for Jersiaise, Abondance and Tarentaise, because of low numbers and/or extreme milk characteristics. For these last 3 breeds, the results have to be deepened by considering to analyze other milks. These results suggest that the equations can be used for other breeds than Montbéliarde for genetic evaluation purposes. The operational valorisation of these new phenotypes resulting from performance control is currently under discussion. Montbéliarde breeders already benefit from genetic selection tools thanks to the implementation of a private genetic evaluation chain developed by the FROM'MIR consortium.

## INTRODUCTION

La « fromageabilité » des laits destinés à la transformation fromagère, définie comme l'aptitude du lait à se transformer en fromage, est un des critères de réussite des procédés de fabrication. Celle-ci est en lien direct avec la qualité des produits et son importance économique est majeure. Actuellement, en France, cette fromageabilité est évaluée en routine de manière indirecte via la composition du lait (TP, TB) pour les laits individuels à partir des données du contrôle de

performances et pour les laits de troupeaux dans le cadre du paiement du lait à la qualité. Grâce à un premier projet FROM'MIR (2015-2018), des équations MIR (spectrométrie moyen infrarouge) d'estimation de la fromageabilité des laits, établies en contexte IGP/AOP franc-comtois, ont été mises au point pour la première fois en France sur la base de 420 laits issus d'élevages de vaches en race Montbéliarde des 3 échelles : laits individuels (250), laits de troupeaux (100), laits de cuve de fromagerie (70) prélevés sur une année sur au moins deux périodes hivernales et estivales. Ainsi, les paramètres liés au rendement fromager évalué au laboratoire ainsi que certains liés à l'aptitude à la coagulation enzymatique (modèles pâtes molles et pâtes pressées cuites) ont pu faire l'objet d'équations MIR, les meilleures performances ayant été obtenues sur les laits individuels (Laithier *et al.,* 2020). Afin de consolider, voire d'améliorer les équations mises au point, d'autres données ont été acquises au travers de collaborations avec le consortium FROM'MIR. Les performances des équations obtenues seront présentées ici, tout en étant comparées à celles initialement obtenues dans le cadre du projet FROM'MIR puis évaluées selon le contexte (IGP/AOP Franche Comté ou hors IGP/AOP Franche Comté) et selon la race.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. LAITS ANALYSES

Les données utilisées ont été acquises au travers du projet FROM'MIR (détails en introduction) puis grâce à des collaborations avec le consortium FROM'MIR (tableau 1). Cinq cent huit laits sont issus de la zone AOP de Franche Comté, prélevés à la fin du programme FROM'MIR (2017-2018) et dans le cadre de projets ultérieurs : PEI Emergence (2018) et Observalait (2019-2021). Quatre-vingt-douze laits de troupeaux, de race Prim'Holstein ou Montbéliarde, ont été collectés en 2020 sur 3 périodes de mi-juin à mi- novembre dans le cadre du projet Overallmilkqual au niveau de 3 grandes régions (Grand Ouest ; Massif Central ; Est avec bassin lyonnais et zone AOP Franche Comté). Enfin, 312 laits individuels de vache ont été prélevés sur 2020-2021 en collaboration avec le consortium OptiMIR dans 22 départements français. Ils proviennent de 10 races de vaches laitières différentes : Montbéliarde, Normande, Brune, Simmental, Vosgienne, Rouge Flamande, Prim'holstein, Jersiaise, Abondance et Tarentaise.

Le second jeu d'équations a ainsi été construit à partir de l'analyse de 1332 laits des 3 échelles : laits individuels, laits de troupeaux et laits de cuve (tableau 1).

| Origine des données | Laits individuels | Laits de troupeaux | Laits de cuve |
|---|---|---|---|
| FROM'MIR-(2015-18) | 250 | 100 | 70 |
| Fin FROM'MIR, PEI Emergence et Observalait | 162 | 231 | 115 |
| Collaboration OptiMIR | 312 | - | - |
| Overallmilkqual | - | 92 | - |
| Total | 724 | 423 | 185 |

**Tableau 1** Nombre de laits utilisés selon le type et l'origine des données

OptiMIR : Composé d'Eliance et de 34 entreprises de son réseau en charge notamment de la collecte de données pour le contrôle de performance officiel

### 1.2. MODALITES DE PRELEVEMENT ET D'ANALYSES

Tous les échantillons de lait frais, cru et entier, ont été collectés en conditions strictes d'hygiène, immédiatement refroidis à 4°C. Les laits collectés dans la zone franc-comtoise (FROM'MIR, PEI Emergence, Observalait) ont été analysés dans les 24 heures. Les autres prélèvements de lait, analysés dans les 48 heures, ont fait l'objet d'ajout de bronopol, ce conservateur n'ayant pas montré d'effet sur les résultats matière grasse et protéines en analyses de référence et en MIR (Leray et al., 1994 ; Baptiste et Trossat, 2000). De plus, une maturation chaude de 60 minutes au lieu de 30 minutes a été appliquée avant emprésurage pour compenser le plus long report au froid, en rétablissant les équilibres minéraux.

Tous ces échantillons de lait ont été analysés par spectrométrie MIR. Les spectres ont été standardisés selon la méthode développée par le CRAW et utilisée par le consortium OptiMIR (Grelet *et al.,* 2015). Le rendement fromager de laboratoire a été apprécié en mesurant le rendement théorique par centrifugation selon la méthode de Hurtaud *et al.* (1995). Les deux modes d'expression retenus sont les rendements de laboratoire frais et en extrait sec (ES = Extrait Sec de caillé rapporté à l'Extrait Sec du lait mis en œuvre en %).

L'aptitude à la coagulation enzymatique a été évaluée à l'aide de l'instrument Formoptic, Formagraph (Foss) modifié par l'ENILBIO et la société Chr Hansen pour automatiser l'enregistrement des paramètres d'aptitude à la coagulation enzymatique. Ces paramètres ont été mesurés selon deux modalités d'emprésurage simulant les deux modèles fromagers étudiés (pâtes molles (PM) et pâtes pressées cuites (PPC)), excepté pour les données Overallmilkqual où l'aptitude à la coagulation n'a été mesurée que selon le modèle PPC.

Différents paramètres peuvent être extraits de la cinétique de coagulation (Figure 1) : aR - la fermeté du gel à une fois le temps de prise, exprimée en indice de fermeté (IF = voltx10) ; a2R - la fermeté à deux fois le temps de prise ; Tg10 - la tangente à 10 IF ou vitesse d'organisation du gel ; K10 – le temps nécessaire pour obtenir une fermeté de 10 IF à partir du temps de prise en minutes ; R – le temps de prise en minutes.

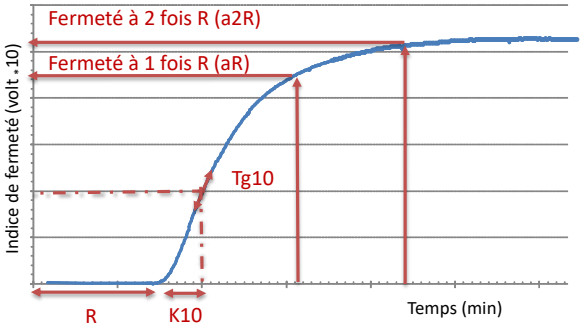



**Figure 1 :** Définition des paramètres d'aptitude à la coagulation enzymatique mesurés avec le Formoptic

### 1.3. TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES

Les équations portant sur le critère de rendement fromager et sur l'aptitude à la coagulation enzymatique ont été développées sur l'ensemble des données disponibles. Ces équations, prenant en compte l'ensemble des laits, quelle que soit l'échelle, ont été établies par analyse de régression PLS « Partial Least Square » avec un jeu de calibration (2/3 des données) et un jeu de validation externe (1/3 des données). La présence d'éventuelles valeurs aberrantes dans les données a été vérifiée. Elles ont été éliminées des données de référence en utilisant le test de Grubbs (Grubbs, 1969). La distance de Mahalanobis standardisée a été également calculée afin d'écarter les spectres aberrants. Sur l'ensemble des données, une non- linéarité a été observée en mettant en relation les données de référence d'aptitude à la coagulation enzymatique et les données estimées par les équations. Une transformation racine carrée a été réalisée sur ces données d'aptitude à la coagulation enzymatique, ce qui n'avait pas été effectué sur le jeu de données initial FROM'MIR.

| Données | N | Moy | ET | Biais | Sy,x | $R^2$ | RPD | RMSEP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Rendement laboratoire frais (%)** | | | | | | | | |
| FROM'MIR (2015-2018) | 122 | 36,12 | 7,22 | 0,19 | 2,74 | 0,85 | 2,60 | 2,96 |
| Toutes | 351 | 38,11 | 8,21 | 0,07 | 3,46 | 0,82 | 2,37 | 3,46 |
| **Rendement laboratoire ES (%)** | | | | | | | | |
| FROM'MIR | 123 | 65,73 | 5,10 | 0,08 | 1,67 | 0,89 | 3,05 | 1,67 |
| Toutes | 353 | 67,14 | 5,49 | 0,03 | 1,90 | 0,88 | 2,88 | 1,91 |
| **R (temps de prise) – modèle PPC (min)** | | | | | | | | |
| FROM'MIR | 123 | 31,42 | 6,29 | 0,32 | 5,53 | 0,23 | 1,14 | 5,53 |
| Toutes sans transformation | 369 | 33,10 | 6,77 | 0,33 | 5,72 | 0,29 | 1,18 | 5,75 |
| Toutes avec transformation | 366 | 33,90 | 7,91 | -0,15 | 6,30 | 0,37 | 1,25 | 6,30 |
| **K10/R (inverse vitesse d'organisation du gel) – modèle PPC** | | | | | | | | |
| FROM'MIR | 118 | 0,373 | 0,099 | 0,01 | 0,06 | 0,62 | 1,62 | 0,06 |
| Toutes sans transformation | 366 | 0,368 | 0,110 | -0,00 | 0,08 | 0,46 | 1,36 | 0,08 |
| Toutes avec transformation | 363 | 0,373 | 0,118 | -0,00 | 0,07 | 0,63 | 1,63 | 0,07 |
| **aR (fermeté du gel au temps de prise) – modèle PPC (IF)** | | | | | | | | |
| FROM'MIR | 121 | 18,67 | 2,65 | -0,27 | 1,41 | 0,72 | 1,88 | 1,44 |
| Toutes sans transformation | 375 | 18,95 | 3,01 | 0,08 | 1,75 | 0,67 | 1,73 | 1,76 |
| Toutes avec transformation | 366 | 19,01 | 2,98 | 0,08 | 1,67 | 0,69 | 1,79 | 1,68 |
| **Tg10 (vitesse d'organisation du gel) – modèle PPC (IF/min)** | | | | | | | | |
| FROM'MIR | 122 | 7,16 | 2,26 | -0,18 | 1,87 | 0,32 | 1,21 | 2,01 |
| Toutes sans transformation | 373 | 7,38 | 2,62 | -0,02 | 1,99 | 0,43 | 1,32 | 1,99 |
| Toutes avec transformation | 370 | 7,46 | 3,11 | -0,11 | 2,14 | 0,53 | 1,45 | 2,16 |
| **R (temps de prise) – modèle PM (min)** | | | | | | | | |
| FROM'MIR | 120 | 17,14 | 2,74 | -0,07 | 2,43 | 0,22 | 1,13 | 2,47 |
| Toutes sans transformation | 311 | 17,63 | 3,41 | -0,05 | 2,80 | 0,33 | 1,22 | 2,80 |
| Toutes avec transformation | 314 | 17,82 | 3,59 | -0,01 | 2,69 | 0,44 | 1,33 | 2,69 |
| **K10/R (inverse vitesse d'organisation du gel) – modèle PM (IF)** | | | | | | | | |
| FROM'MIR | 115 | 0,368 | 0,113 | 0,01 | 0,07 | 0,62 | 1,61 | 0,07 |
| Toutes sans transformation | 305 | 0,367 | 0,111 | -0,01 | 0,08 | 0,54 | 1,47 | 0,08 |
| Toutes avec transformation | 313 | 0,371 | 0,117 | 0,00 | 0,07 | 0,65 | 1,68 | 0,07 |
| **aR (fermeté du gel au temps de prise) – modèle PM (IF)** | | | | | | | | |
| FROM'MIR | 120 | 19,06 | 2,88 | -0,29 | 1,50 | 0,73 | 1,92 | 1,52 |
| Toutes sans transformation | 315 | 19,21 | 3,06 | 0,10 | 1,71 | 0,69 | 1,79 | 1,72 |
| Toutes avec transformation | 311 | 19,37 | 2,93 | -0,06 | 1,57 | 0,71 | 1,86 | 1,61 |
| **a2R (fermeté du gel au temps de prise) – modèle PM (IF)** | | | | | | | | |
| FROM'MIR | 119 | 23,06 | 2,24 | -0,30 | 1,34 | 0,64 | 1,67 | 1,38 |
| Toutes sans transformation | 315 | 23,31 | 2,68 | 0,087 | 1,56 | 0,66 | 1,71 | 1,58 |
| Toutes avec transformation | 308 | 23,38 | 2,46 | -0,03 | 1,38 | 0,68 | 1,78 | 1,41 |
| **Tg10 (vitesse d'organisation du gel) – modèle PM (IF/min)** | | | | | | | | |
| FROM'MIR | 120 | 13,99 | 4,23 | -0,31 | 3,19 | 0,44 | 1,33 | 3,22 |
| Toutes sans transformation | 318 | 14,38 | 5,10 | -0,02 | 3,47 | 0,54 | 1,47 | 3,48 |
| Toutes avec transformation | 309 | 14,51 | 5,27 | -0,37 | 3,12 | 0,65 | 1,69 | 3,15 |

**Tableau 2** Performances des équations en validation externe sur toutes les données (avec ou sans transformation pour les données Formoptic) comparées à celles de FROM'MIR (sans transformation pour les données Formoptic)
Sigles : se référer au paragraphe 1.3
$R^2$ (Coppa et al., 2010) : Excellent : > 0,91 ; Bon : entre 0,82 et 0,90 ; Moyen : entre 0,66 et 0,81 ; Mauvais : < 0,66
RPD (Viscarra Rossel et al., 2006) : Excellent : > 2,5 ; Très bon : entre 2 et 2,5 ; Bon : entre 1,8 et 2 ; Moyen : entre 1,4 et 1,8 ; Mauvais : entre 1 et 1,4

La performance des équations a été appréciée au travers de différents critères. Le biais moyen, moyenne de la différence entre les prédictions et les données de référence doit tendre vers zéro et l'écart type résiduel (Sy,x), dispersion observée de la différence entre les valeurs estimées par l'équation et les données de référence, doit être le plus faible possible. Le $R^2$ correspond au pourcentage de variabilité expliqué par l'équation et le RPD (Ratio of Performance to Deviation), critère de précision, au rapport entre la dispersion des données de référence et l'erreur de prédiction. Les performances sont classées selon Coppa *et al.* (2010) pour le $R^2$ et Viscarra Rossel *et al.* (2006) pour le RPD. Le RMSEP (Racine carrée de l'erreur quadratique moyenne entre les données de référence et les données prédites) a également été calculé.
Ces performances ont été comparées à celles des équations établies initialement dans FROM'MIR selon la même méthodologie (El Jabri *et al.,* 2019). Elles ont aussi été évaluées selon le contexte (IGP/AOP Franche Comté ou hors IGP/AOP Franche Comté) et selon la race.

## 2. RESULTATS

### 2.1. PERFORMANCES DES EQUATIONS COMPAREES A CELLES MISES AU POINT DANS FROM'MIR

Le critère le mieux prédit (tableau 2) est le rendement laboratoire que ce soit en frais ou en extrait sec (bonnes performances pour $R^2$ et excellentes (ES) ou très bonnes (frais) pour le RPD). Pour l'aptitude à la coagulation enzymatique, après transformation des données, le paramètre le mieux prédit est la fermeté du gel à une fois le temps de prise, quel que soit le modèle, avec de bonnes performances (PPC) ou moyennes (PM) pour le RPD et moyennes pour le $R^2$. Les performances sont moindres pour la fermeté à deux fois le temps de prise (PM) et deviennent mauvaises concernant le $R^2$, moyennes pour le RPD pour les vitesses d'organisation des gels. Les performances sont mauvaises pour le temps de prise, quel que soit le modèle.
Pour la plupart des paramètres, la performance des équations sur l'ensemble des données n'est que très légèrement différente de celle des équations FROM'MIR (tableau 2). Les

différences notables, dans le sens d'une amélioration, concernent R, Tg10 quel que soit le modèle mais les performances sur le $R^2$ restent mauvaises et mauvaises à moyennes sur le RPD selon le paramètre. Comme le montrent les résultats avant et après transformation des données, cette amélioration est due en partie à la prise en compte de la non-linéarité en appliquant la transformation racine carrée aux données brutes de référence. Cette dernière permet de maintenir les performances des équations pour les autres paramètres d'aptitude à la coagulation.

### 2.2. PERFORMANCES DES EQUATIONS EN FONCTION DU CONTEXTE

La re-prédiction des paramètres à l'aide des équations sur les jeux partiels de données : contexte IGP/AOP Franche Comté ou hors IGP/AOP Franche Comté a été effectuée, le tableau 3 illustrant les résultats pour le rendement et l'aptitude à la coagulation enzymatique en modèle PPC. La comparaison des performances des équations ne montre pas de différences importantes selon le contexte quel que soit le paramètre étudié. Les nouvelles équations mises au point en élargissant le jeu de données sont ainsi valables quel que soit le contexte, IGP/AOP Franche Comté ou en dehors.

L'analyse des résultats (non présentés ici) montrent que les équations restent performantes quelle que soit la race, excepté pour la Jersiaise, Abondance et Tarentaise, en raison de faibles effectifs et/ou de laits à caractéristiques extrêmes. Pour ces 3 dernières races, les résultats méritent d'être approfondis en envisageant d'analyser d'autres laits.

| Données | N | Moy | ET | Biais | Sy,x | $R^2$ | RPD | RMSEP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Rendement laboratoire frais (%)** | | | | | | | | |
| Contexte IGP/AOP Franche Comté | 895 | 37,05 | 6,33 | 0,02 | 2,51 | 0,84 | 2,52 | 2,51 |
| Hors contexte IGP/AOP Franche Comté | 247 | 39,73 | 10,04 | 0,08 | 2,66 | 0,93 | 3,78 | 2,65 |
| **Rendement laboratoire ES (%)** | | | | | | | | |
| Contexte IGP/AOP Franche Comté | 902 | 66,57 | 4,40 | -0,04 | 1,44 | 0,89 | 3,05 | 1,45 |
| Hors contexte IGP/AOP Franche Comté | 251 | 67,76 | 6,93 | 0,16 | 1,48 | 0,96 | 4,69 | 1,50 |
| **K10/R (inverse vitesse d'organisation du gel) – modèle PPC** | | | | | | | | |
| Contexte IGP/AOP Franche Comté | 904 | 0,349 | 0,080 | 0,00 | 0,04 | 0,75 | 1,99 | 0,04 |
| Hors contexte IGP/AOP Franche Comté | 299 | 0,380 | 0,106 | -0,01 | 0,06 | 0,72 | 1,90 | 0,06 |
| **aR (fermeté du gel au temps de prise) – modèle PPC (IF)** | | | | | | | | |
| Contexte IGP/AOP Franche Comté | 899 | 19,58 | 2,23 | -0,12 | 1,06 | 0,78 | 2,11 | 1,07 |
| Hors contexte IGP/AOP Franche Comté | 303 | 18,66 | 3,15 | 0,29 | 1,40 | 0,80 | 2,25 | 1,43 |
| **Tg10 (vitesse d'organisation du gel) – modèle PPC (IF)** | | | | | | | | |
| Contexte IGP/AOP Franche Comté | 896 | 7,81 | 2,18 | -0,13 | 1,37 | 0,61 | 1,60 | 1,38 |
| Hors contexte IGP/AOP Franche Comté | 309 | 6,72 | 3,22 | 0,09 | 1,65 | 0,74 | 1,95 | 1,66 |

**Tableau 3** Performances des équations rendement et aptitude à la coagulation enzymatique -PPC en fonction du contexte (IGP/AOP Franche Comté ou hors IGP/AOP Franche Comté)

## 3. DISCUSSION

Depuis une dizaine d'années, des travaux se penchent sur la recherche de méthodes prédictives rapides, à grande échelle et peu coûteuses par l'intermédiaire du MIR dans le but de déterminer la composition fine des laits et leur fromageabilité. Les études portent majoritairement sur les laits individuels avec parfois des laits de troupeaux. Il n'existe pas à notre connaissance de références sur les laits de cuves. Les travaux ont notamment démontré la faisabilité d'estimer le rendement fromager, l'aptitude à la coagulation enzymatique à partir du spectre MIR (DeMarchi *et al*., 2014).

Les critères de rendement au laboratoire ou par mini-fabrications sont bien prédits par le MIR (Colinet *et al.,* 2013 ; Ferragina *et al.,* 2013).

Les performances des équations sur l'aptitude à la coagulation sont variables en fonction des paramètres et des études, en fonction des méthodes de référence utilisées et de la variabilité des données utilisées. Le temps de prise est parfois très bien prédit (De Marchi *et al.,* 2012 et 2013) contrairement à notre étude : le pH est un facteur important de variation du temps de prise mais dans FROM'MIR, le choix a été fait de standardiser les pH au pH usuel d'emprésurage de la technologie considérée, comme le fait habituellement le fromager.

Outre la standardisation ou non du pH, d'autres différences peuvent être notées selon les méthodes de références employées à savoir le matériel utilisé et les concentrations en présure, les paramètres utilisés (De Marchi *et al.,* 2014). Pretto *et al.* (2011) et Cipolat-Gotet *et al.* (2012) ont comparé les différentes méthodologies de référence pour déterminer l'aptitude à la coagulation des laits telles que le Formagraph et les instruments optiques. Les modèles de prédiction obtenus et basés sur la mesure de la fermeté du gel 60 min après l'ajout de présure ne sont pas complètement satisfaisants, montrant l'effet de la méthode de référence sur les performances des équations. Ferragina *et al.* (2017) sur laits de brebis ont montré que le premier déterminant de la prédiction est la répétabilité des analyses de références qui sont faites pour la calibration des équations. Plus la répétabilité sera élevée, meilleure sera la prédiction des équations.

Plus généralement, comme cela a été mis en évidence dans de précédentes études, les conditions de réalisation des tests, les paramètres utilisés pour caractériser les propriétés d'aptitudes fromagères, les caractéristiques des échantillons de laits de races laitières spécifiques engendrent des corrélations spécifiques entre les paramètres d'aptitudes fromagères et la composition du lait ou le pH. La sélection variable des spectres et les pré-traitements mathématiques influencent la précision des modèles de prédiction dépendant de la méthode utilisée pour construire les équations. Cela affecte les prédictions des différents paramètres d'aptitude fromagère et expliquent la non-cohérence des résultats selon les études (Bonfatti *et al.,* 2016).

En construisant des modèles utilisant des laits individuels avec des races multiples, les performances en validation externe des équations établies sont moindres (Visentin *et al.,* 2016 ; Eskildsen *et al.,* 2016). Dans notre étude, les performances ont été maintenues probablement du fait d'une variabilité déjà importante dans le jeu de données FROM'MIR. La sélection des échantillons avait en effet été effectuée pour maximiser la variabilité : prise en compte des résultats TP, variants (laits individuels), plusieurs périodes de collecte...

## CONCLUSION

Les équations FROM'MIR ont été consolidées avec l'apport de nouvelles données en France, dont certaines obtenues hors contexte IGP/AOP franc comtois. Les nouvelles équations mises au point en élargissant le jeu de données sont valables quel que soit le contexte, IGP/AOP Franche Comté ou en dehors. Par ailleurs, les équations restent performantes quelle que soit la race, excepté pour la Jersiaise, Abondance et Tarentaise, en raison de faibles effectifs et/ou de laits à caractéristiques extrêmes. Les recherches soulignent l'influence de la variabilité des données, des méthodes de référence utilisées et des unités de mesure pour développer

des modèles robustes. Pour arriver à ces derniers, valables quel que soit le pays, il est nécessaire de standardiser les méthodes de référence utilisées car nous pouvons observer une grande variabilité de celles-ci dans les études.
La valorisation opérationnelle en France de ces nouveaux phénotypes de fromageabilité, issus du contrôle de performances, est actuellement en discussion. Les éleveurs de race Montbéliarde bénéficient déjà d'outils pour la sélection génétique grâce à la mise en place d'une chaine d'évaluation génétique privative développée par le consortium FROM'MIR. Les résultats obtenus par race laissent présager l'utilisation des équations pour d'autres races que la Montbéliarde à des fins d'évaluation génétique.

*Remerciements : Nous remercions chaleureusement tous les éleveurs et fromagers ayant participé à ces études ainsi que les financeurs associés : CASDAR, CNIEL, URFAC, région Bourgogne - Franche Comté (BPI et PEI), Institut Carnot France Futur Elevage, OptiMIR.*

**Baptiste A., Trossat P., 2000.** Lettre de Cécalait, 34.
**Bonfatti, V., L. Degano, A. Menegoz, and P. Carnier. 2016.** J. Dairy Sci., 99, 8216-8221.
**Cipolat-Gotet C., Cecchinato A., De Marchi M., Penasa M., Bittante G, 2012.** J. Dairy Sci. 95, 11, 6806-6819.
**Colinet F. G., Troch T., Abbas O., Beaten V., Dehareng F., Froidmont A., Soyeurt H., Dardenne P., Sindic M., Gengler N., 2013**. Renc Rech Rum, 20, 153-156.
**Coppa, M., Ferlay, A., Leroux, C., Jestin M., Chilliard Y., Martin B. et Andueza D., 2010.** Int. Dairy J., 20, 182-189.
**De Marchi M., Toffanin V., Cassandro M., et Penasa M., 2013.** J. Dairy Sci.,96, 4707-4715.
**De Marchi M., Toffanin V., Cassandro M., Penasa M., 2014.** J. Dairy Sci., 97, 1171-1186.
**El Jabri, M., M. P. Sanchez, P. Trossat, C. Laithier, V. Wolf, P.**
**Eskildsen, C.E., T. Skov, M.S. Hansen, L.B. Larsen, and N.A. Poulsen. 2016.** J. Dairy Sci., 99, 8178-8186.
**Ferragina, A., C. Cipolat-Gotet, A. Cecchinato, and G. Bittante. 2013.** J. Dairy Sci., 96, 7980-7990.
**Ferragina, A., C. Cipolat-Gotet, A. Cecchinato, M. Pazzola, M.L. Dettori, G.M. Vacca, and G. Bittante. 2017.** J. Dairy Sci., 100, 3526-3538.
**Grelet C., Fernandez Pierna J.A., Dardenne P., Baeten V., Dehareng F., 2015.** J Dairy Sci., 98, 2150-2160.
**Grosperrin, E. Beuvier, O. Rolet-Répécaud, S. Gavoye, Y. Gaüzere, O. Belysheva, E. Notz, D. Boichard, and A. Delacroix-Buchet. 2019.** J. Dairy Sci., 102, 6943–6958.
**Grubbs, F.E. 1969.** Technometrics, 480, 11, 1-21.
**Hurtaud C., Rulquin H., Delaite M. et Vérité R., 1995.** Annales de zootechnie, 44, 385-398.
**Laithier C., Wolf V., Brochard M., Sanchez M.P., Gaudillière N., Minéry S., Fritz S., Gavoye S., Gaüzère Y., Rolet-Répécaud O., Notz E., Bouton Y., Boichard D., Grosperrin P., Delacroix-Buchet A., 2020.** Innovations Agronomiques, INRA, 79, 227-244.
**Leray O., Trossat P., Lefier D., Baptiste A., 1994.** Lettre de Cécalait, 10.
**Pretto D., Kaart T., Vallas M., Jõudu I., Henno M., Ancilotto L., Cassandro M., Pärna E., 2011.** J. Dairy Sci.,94, 4336-4346.
**Viscarra Rossel, R.A., R.N. McGlynn, and A.B. McBratney., 2006.** Geoderma, 137, 70-82.
**Visentin, G., M. Penasa, P. Gottardo, M. Cassandro, and M. De Marchi. 2016.** J. Dairy Sci., 99, 8137-8145.

# 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 matières 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 environnemental de Botreau

et al. (2018) à l'outil CAP'2ER®. Elle apporte des éléments de réponse à la question : « est-il possible de produire un lait de qualité avec le plus faible impact environnemental possible ? ».

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DU LAIT

L'arbre de qualité du lait destiné à une transformation fromagère au lait cru et à pâte pressée non cuite proposé par Rey-Cadilhac et al. (2021) a été adapté en ne retenant que les indicateurs qui peuvent être prédits par spectroscopie ou de fluorescence.

Une succession de comités techniques et la consultation de la littérature scientifique ont permis d'adapter les seuils favorables et défavorables tels que décrits dans Rey-Cadilhac et al. (2021), afin de définir pour chaque indicateur une note comprise entre 0 (la moins bonne qualité) et 10 (la meilleure). La note finale de qualité est la moyenne pondérée des différentes notes, les pondérations ayant été adaptées à la nouvelle structure de l'arbre, validée avec les comités techniques de notre étude et en accord avec la littérature scientifique.

L'arbre de qualité mis à jour dans le cadre de cette étude est finalement structuré en 4 composantes, 7 principes (1 à 3 par composante) et 26 indicateurs, comme détaillé dans le tableau 1.

### 1.2. ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE

Nous proposons une adaptation de l'arbre environnement décrit par Botreau et al. (2018) afin de calculer la note sur 10 en ne retenant que les indicateurs pouvant être fournis par l'outil CAP'2ER®. Cet outil fournit de façon automatique la plupart des indicateurs nécessaire à l'évaluation environnementale. Des calculs simples de conversion permettent ensuite d'obtenir les indicateurs dans les unités voulues (exemple : par 1000 kg de lait produit) afin de calculer, en reprenant les seuils favorables et défavorables de la méthodologie de Botreau et al. (2018), les notes 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.

| Composantes | Principes | Critères | Indicateurs |
|---|---|---|---|
| Sensorielle (10) | Texture (33) | Gras/sec, Fondant, Fermeté de la pâte, Protéolyse | TB/TP, C18:1 totaux /C16:0, Taux d'urée, Dénombrement cellulaire |
| | Flaveur (67) | Goûte altéré, goût rance | Dénombrement cellulaire, Teneur en AGL |
| Technologique (20) | Aptitude à l'acidification (20) | Pouvoir tampon | Dénombrement cellulaire, Taux d'urée |
| | Aptitude au Rendement fromager (45) | Teneur en caséine au moment, de la transformation, TB/TP, TB | Teneur totale en caséine, Dénombrement cellulaire, TB/TP, TB |
| | Aptitude à l'égouttage (35) | Pouvoir tampon, Consistance du gel | 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/teneur 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 phosophorique |
| Sol (15) | Acidification de l'air (100) | Dioxyde de souffre |
| Ressources (20) | Occupation d'espace (43)<br>Utilisation d'énergie fossiles (57) | SAU<br>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

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 laitièrespart d'herbe conservée, d'herbe pâturée, de concentrés, de maïs et d'autres fourrage 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.

| | Type de ferme | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Composante | HP | HF | HMC | SEM | p-value |
| 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.

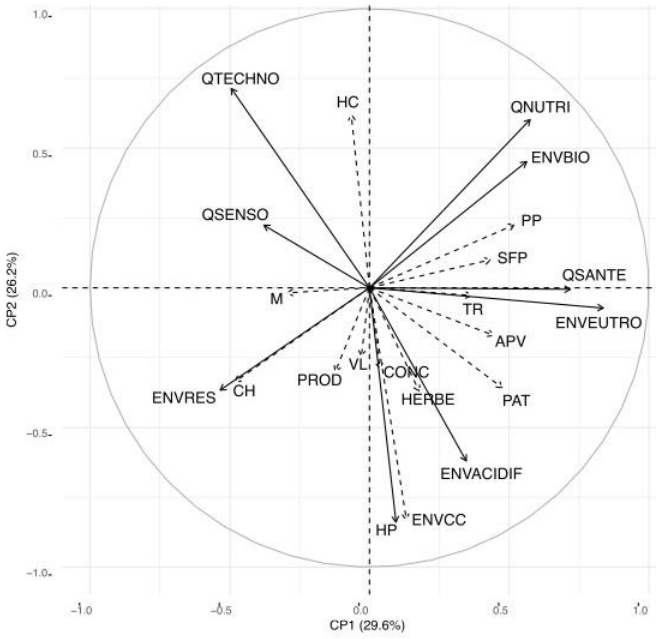



**Figure 1** Analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les 13 principales variables descriptives (flèches en pointillés) des 15 exploitations auditées, dans le plan défini par les 2 axes principaux (CP1 et CP2) qui expliquent le mieux les 4 notes de qualité et les 5 notes environnementales (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 l'axe 2 (CP2, 26,2 % d'explication) tandis que les composantes de changement climatique et d'acidification y sont corrélées négativement. Enfin, les bonnes notes technologique et nutritionnelle ainsi qu'en biodiversité sont corrélées positivement à l'axe 3 (CP3, 16,7 % d'explication).

Parallèlement, les variables qui apparaissent, dans l'ACP, comme les plus déterminantes parmi les 13 qui décrivent les exploitations sont d'abord la surface totale de prairies permanentes présentes sur l'exploitation, l'âge au premier vêlage, et le temps passé au pâturage dans l'année. On identifie ensuite comme paramètres déterminants le taux d'herbe conservée dans la ration, la proportion d'animaux de race de vaches hautes productrices dans le troupeau, et les proportions d'herbe pâturée et de concentrés dans la ration.

Ainsi les ACP réalisées ont permis de vérifier que les fermes de l'échantillon sont dispersées sur les plans définis par CP1/CP2 (figure 2) mais aussi CP1/CP3.

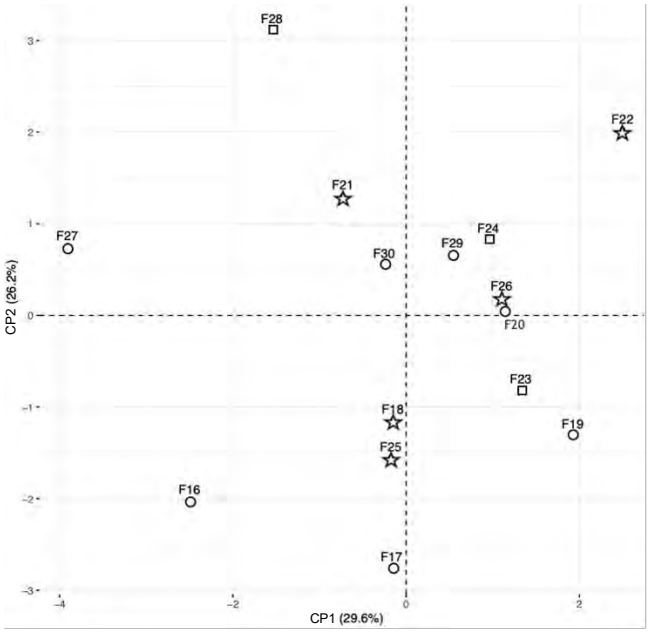



**Figure 2** Répartition des 15 exploitations auditées (réparties dans les 3 types : HP représentés par un rond, HF=carré et HMC=étoile) sur les axes CP1 et CP2.

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

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

**Tableau 5** Corrélation pour les 15 exploitations auditées sur les 4 composantes de la qualité du lait et les 5 composantes de l'évaluation environnementale. En gras : corrélations avec p-value < 0,10. Eutro. : eutrophisation, Acidif. : acidification, Ress. : ressources, Biodiv. : biodiversité, Senso. : sensorielle, Techno. : technologique, Nutri. : nutritionnelle, glo. : globale.

La matrice de corrélation entre les notes environnementales et les notes de qualité (tableau 5) permet de compléter les résultats de l'ACP. Des corrélations positives sont démontrées entre les notes eutrophisation et santé (P<0,05) et entre les notes ressources et sensorielles (P<0,10). Des corrélations négatives et tendancielles (P<0,10) existent entre les notes de changement climatique et technologiques, entre les notes d'eutrophisation et technologique, entre les notes acidification et technologiques et entre les notes de ressources et nutritionnelles.

## 3. DISCUSSION

### 3.1. ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DU LAIT

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

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

Cette simplification de l'arbre a fortement modifié les composantes technologique et sensorielle (-67 % et -59 % des indicateurs initiaux respectivement) et secondairement la composante nutritionnelle (-50 % des indicateurs). La composante santé a été la moins fortement modifiée (- 38 % des indicateurs). Finalement, les notes obtenues avec l'arbre de qualité adapté à l'application terrain sont supérieures de 0,25 point en moyenne à celles obtenues avec l'arbre de décision global appliqué à des exploitations agricoles comparables (Botreau et al., 2018 et Rey-Cadilhac et al., 2021) appartenant en partie au même territoire. Les résultats obtenus montrent globalement une bonne variabilité : la méthode est sensible concernant l'arbre de qualité.

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

### 3.2. ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE

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

La note environnementale globale de 4 des 5 composantes de l'environnement est plus élevé qu'avec l'arbre de Botreau et al. (2018). Au contraire pour la composante "biodiversité" : la note est plus faible avec notre arbre de décision : 4,0 vs 6,6. Le fait que ces notes soient globalement plus élevées comparativement à celles obtenues avec l'arbre décisionnel global (Botreau et al., 2018) est lié aux changements important concernant la composition de l'arbre et le mode de calcul de certains indicateurs. Là aussi le manque de différences de notes entre les types de fermes est notable et traduit le fait que les choix de conduite de l'exploitation retenus dans cette étude n'influencent que peu ces notes, qui sont probablement pilotées par d'autres facteurs (voir §3.3).

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

Le résultat de corrélation le plus innovant concerne la relation positive et significative entre les notes d'eutrophisation et de santé. Rappelons qu'une bonne note d'eutrophisation reflète l'impact négatif faible des pertes d'azote et de phosphore sur la qualité de l'eau, donc le faible risque de favoriser l'eutrophisation, en réduisant les concentrations de monoxyde d'azote (NO), d'ammoniac ($NH_3$), de trioxyde d'azote ($NO_3$), de pentoxyde de phosphore ($P_2O_5$) et d'ion phosphate ($PO_4^{3-}$) dans le milieu naturel. Par construction, une bonne note sur la composante santé est associée à de fortes concentrations de composés azotés (caséines) et de plusieurs lipides (C4:0, teneur totale en C6:0 + C8:0 + C10:0, ALA, AGPI) et de faibles

concentrations en C17:0, en acides gras saturés totaux, et en C16:0. Notre travail méthodologique et les analyses des notes obtenues permettent d'associer ces caractéristiques au fait d'avoir beaucoup d'herbe pâturée dans la ration, avec un long temps passé à pâturer toute l'année. Cette relation peut s'expliquer par la richesse, dans les exploitations pâturantes (nombreuses prairies et longue durée de pâturage) du lait produit en ces acides gras (Coppa et al., 2015) et par les faibles pertes en azote de ces mêmes exploitations (Guerci et al., 2013). Il est aussi établi qu'avec l'augmentation de la part d'herbe dans la ration, la teneur en C16:0 diminue tandis que celle en ALA augmente (Coppa et al., 2015). L'autre résultat à souligner est la corrélation (négative et en tendance, p=0,057) concernant les notes d'acidification et de qualité technologique. En d'autres termes, le risque d'acidification de l'air (CAP '2ER® fournit un indicateur de l'accumulation de substances acidifiantes dans l'air : NO, $NH_3$, $SO_2$) est plus faible dans des conditions où le lait a une qualité technologique moindre. Cette note de qualité technologique augmente notamment lorsque le taux de cellules somatiques et d'urée dans le lait sont bas. Notre méthodologie identifie ces bonnes notes d'acidification et moins bonne en qualité technologiques dans les exploitations où la proportion d'animaux de race de vaches hautes productrices dans le troupeau et la part de concentrés élevée dans la ration sont élevées. Ces résultats sont en accord avec ceux d'Agabriel et al. (2004) et Coppa et al., (2019) mettant en évidence que ces conditions de production sont souvent accompagnées d'un taux de cellules somatiques plus élevé. Ils sont cohérents également avec l'effet d'une augmentation des quantités de concentrés azotés sur le taux d'urée démontré par Baeza-Campone et al. (2020) et sur les processus de libération de NH3 plus fort lors du stockage des effluents démontré par Guerci et al.(2013), donc un risque d'acidification accru. La troisième corrélation (négative et presque significatif p=0,051) concerne la note d'impact sur les ressources et la composante nutritionnelle. Autrement dit l'impact sur les ressources (qui intègre la consommation d'espace en hectares pour 1000 kg de lait et d'énergies fossiles en mégajoules pour 1000 kg de lait) est plus fort quand la qualité nutritionnelle du lait produit est meilleure. On comprend que ce sont les systèmes extensifs, au regard de l'unité fonctionnelle choisie, qui ont un impact fort sur les ressources puisqu'ils présentent une production laitière moindre et donc souvent aussi un taux de cellules somatique dans le lait plus faible. En effet, la note de qualité nutritionnelle est associée à la teneur en ALA, au rapport TB/ teneur en caséine dans le lait cru et dans une moindre mesure au nombre de cellules. La teneur en ALA dans le lait s'explique probablement par la composition botanique diversifiée des prairies pâturées en gestion extensive (Renna et al., 2020). En effet les systèmes de pâturage extensifs s'appuient sur les prairies naturelles, connues pour l'importance des plantes dicotylédones, riches en métabolites secondaires (Cabiddu et al., 2022). Ces composés dans l'herbe permettant un transfert plus élevé d'ALA dans le lait en raison de leur capacité à inhiber partiellement la biohydrogénation ruminale des AGPI de l'herbe (Leiber et al., 2005). Les résultats de cette étude permettent de confirmer, sur la base de notre échantillon de 15 fermes, les tendances observées précédemment (Botreau et al., 2018) : il n'y a pas de corrélation entre la note globale de la qualité d'un lait destiné à la fabrication de fromage au lait cru et la note globale des impacts environnementaux de l'exploitation agricole qui produit le lait. En revanche certaines composantes de la qualité du lait sont corrélées négativement avec les impacts environnementaux (la composante technologique et l'acidification de l'air, mais aussi la composante nutritionnelle et la consommation de 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., Cliquart, A., Feidt, C., Gautron, J., Guiller, L., Lebret, B., Lefèvre, F., Martin, B., 2020.** in Prache, S., Santé-Lhoutelier, 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., VerbičJ., 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., Baéza-Campone E., Bouillot P.E., Clinquart 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-Cadhilac L., Botreau R., Ferlay A., Hulin S., Hurtaud C., Lardy R., Martin B., Laurent C., 2021**. Animal 15, issue 7

# Impact de l'intervalle de traite sur la lipolyse spontanée du lait de vache

HURTAUD C. (1), BERNARD L. (2), TAILLEBOSQ D. (1), CEBO C. (3)
(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590, Saint Gilles, France
(2) Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Herbivores, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France
(3) Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, GABI, 78350, Jouy-en-Josas, France

**RESUME**
La lipolyse du lait est définie comme l'hydrolyse des triglycérides, le composant principal de la matière grasse du lait. Elle est plus élevée dans les laits issus de la traite du soir que dans ceux issus de la traite du matin. Cette différence pourrait être due à la durée des intervalles entre traites ou au nycthémère. L'objectif de cet essai a été d'étudier l'impact de l'intervalle entre 2 traites sur la lipolyse spontanée du lait : 10–14 (traites à 6h30 et 16h30) ; 14–10 (traites à 6h30 et 20h30) ; 12–12 (traites à 6h30 et 18h30). 21 vaches laitières multipares en milieu de lactation ont été utilisées selon un schéma expérimental en carré latin 3 × 3 conduit sur 3 périodes expérimentales de 1 semaine alternant avec une semaine de traite classique 10-14. Nous avons observé plus de lipolyse spontanée dans le lait du soir pour le traitement 10-14 (+0,22 mEq/100 g de matière grasse) et dans le lait du matin pour le traitement 14-10 (+0,19 mEq/ 100 g de matière grasse) et pas de différence significative entre traites pour le traitement 12-12 même si la lipolyse était numériquement plus élevée dans les laits du soir (+0,10 mEq/100 g de matière grasse). Les teneurs en protéines du lait, en phosphore total et en citrate ont augmenté avec la durée de stockage du lait dans la glande mammaire (de 10 à 14 h). Le rythme de traite n'a eu aucun effet sur le diamètre des globules gras du lait. Le rapport Na/K, indicateur d'une ouverture des jonctions serrées dans la glande mammaire, n'a augmenté que pour la traite du soir pour les traitements 12-12 et 14-10. En conclusion, l'effet des intervalles de traite semble plus important que l'effet du nycthémère sur le taux de lipolyse spontanée du lait.

# Impact of the milking interval on the spontaneous lipolysis of cows' milk

HURTAUD C. (1), BERNARD L. (2), TAILLEBOSQ D. (1), CEBO C. (3)
(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590, Saint Gilles, France

**SUMMARY**
Milk lipolysis is defined as the hydrolysis of triglycerides, the main component of milk fat. It is higher in milks from the evening milking than in those from the morning milking. This difference could be due to the length of the intervals between milkings or to the nychthemeron. The objective of this trial was to study the impact of the interval between 2 milkings on the spontaneous lipolysis of milk: 10–14 (milkings at 6.30 a.m. and 4.30 p.m.); 14–10 (milking at 6:30 a.m. and 8:30 p.m.); 12–12 (milking at 6:30 a.m. and 6:30 p.m.). 21 multiparous dairy cows in mid-lactation were used according to a 3 × 3 Latin square experimental design conducted over 3 experimental periods of 1 week alternating with a classic 10-14 week milking. We observed more spontaneous lipolysis in evening milk for treatment 10-14 (+0.22 mEq/100 g fat) and in morning milk for treatment 14-10 (+0.19 mEq/ 100 g of fat) and no significant difference between milkings for treatment 12-12 even if lipolysis was numerically higher in the evening milks (+0.10 mEq/100 g of fat). Milk protein, total phosphorus and citrate contents increased with the duration of storage of milk in the mammary gland (from 10 to 14 h). Milking intervals had no effect on milk fat globule diameter. The Na/K ratio, an indicator of tight junction opening in the mammary gland, increased only for evening milking for treatments 12-12 and 14-10. In conclusion, the effect of milking intervals seems more important than the effect of nycthemeron on the rate of spontaneous milk lipolysis.

## INTRODUCTION

La lipolyse du lait est définie comme l'hydrolyse des triglycérides, le composant principal de la matière grasse du lait. Elle est un des critères d'évaluation de la qualité du lait car les acides gras libérés lors de la dégradation de la matière grasse altèrent à la fois les propriétés organoleptiques et technologiques des laits. La lipolyse est un phénomène complexe, qui dépend à la fois de paramètres liés à l'animal et de facteurs d'élevage. En particulier, en ce qui concerne la conduite de traite, la lipolyse est plus élevée dans les laits issus de la traite du soir que dans ceux issus de la traite du matin. Cette différence pourrait être due à la durée des intervalles entre traites ou au nycthémère (succession jour-nuit). L'objectif de cet essai était donc d'étudier l'impact de l'intervalle entre 2 traites sur la lipolyse spontanée (LS) du lait.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. ANIMAUX ET TRAITEMENTS

L'expérimentation a été menée à l'IE PL, INRAE, Nutrition et physiologie laitières (IE PL, 35650 Le Rheu, France ; https://doi.org/10.15454/yk9q-pf68). Elle a reçu une Autorisation du ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche sous le numéro APAFIS#23235-2019120920557765 v2. 21 vaches laitières multipares en milieu de lactation ont été utilisées selon un schéma expérimental en carré latin 3 × 3 pendant 3 périodes. 3 traitements ont été appliqués : 10–14 (traites à 6h30 et 16h30) ; 12–12 (traites à 6h30 et 18h30) et 14–10 (traites à 6h30 et 20h30). L'expérimentation a duré 5 semaines (3 périodes expérimentales de 1 semaine alternant avec une semaine de traite classique 10-14). La production laitière en début d'essai était de 32,7 ± 5,0 kg. Le stade de lactation moyen était de 48 ± 8 jours. Les lots ont été appariés selon les critères suivants : susceptibilité à la LS, stade de lactation, production de lait, TB et TP, poids vif. Les vaches ont reçu un régime à base d'ensilage de maïs (65 %), de luzerne déshydratée (10 %), de concentré énergétique à base de céréales (12,5 %) et de tourteau de soja 48 (12,5 %). Elles ont été alimentées à volonté. Des prélèvements de lait ont été effectués à la traite du matin et du soir et une prise de sang a été réalisée une fois par période.

### 1.2. ANALYSES DU LAIT

#### 1.2.1 Composition du lait

Les teneurs en matières grasses, en protéines et en lactose du lait et le nombre de cellules somatiques (SCC) ont été déterminés sur le lait de six traites consécutives chaque semaine. Ces analyses ont été réalisées par spectrométrie moyen infrarouge pour les teneurs en matières grasses, protéines et lactose et par cytométrie de flux pour le SCC au laboratoire interprofessionnel MyLab (Châteaugiron, France).

Les vaches ont été traites sur bidons à la traite du matin et du soir à la fin de la période pré-expérimentale et à la fin de chaque période expérimentale (un jour). Des échantillons de lait ont été aliquotés pour la mesure de la LS, le profil en acides gras (AG), et la composition en matières azotées totales, caséines, protéines (méthode Kjeldahl) et en minéraux (par ICP MS). L'activité de la lipoprotéine lipase du lait (EC 3.1.1.34) a été mesurée lors de la traite du matin comme décrit dans Bernard et al. (2005).

#### 1.2.2 Lipolyse spontanée du lait

Deux flacons ont été collectés par vache pour calculer la LS par la différence entre le contenu en AG libres après 24 heures de stockage à 4°C et le contenu initial en AG libres. Immédiatement après la traite, un échantillon de 50 mL a été chauffé pendant 2 min 30 s dans un bain-marie à 100°C pour bloquer l'activité de la lipase, puis maintenu à 4°C. Un deuxième échantillon a d'abord été stocké à 4°C pendant 24 heures avant d'être chauffé 3 min à 100°C et maintenu à 4°C comme ci-dessus. Les AG libres ont été mesurés sur les deux échantillons par la méthode aux savons de cuivre (Shipe et al., 1980 ; Vanbergue et al., 2016).

#### 1.2.3 Diamètre des globules gras du lait et des caséines

Les flacons ont été conservés à température ambiante avec du bronopol (Merck, Darmstadt, Allemagne) pour évaluer la distribution de taille des globules gras par diffusion de la lumière laser (Mastersizer 3000, Malvern, Royaume-Uni). Les diamètres moyens $d_{4,3}= \Sigma(N_i x d_i^4) / \Sigma(N_i x d_i^3)$, $d_{3,2} = \Sigma(N_i \times d_i^3) / \Sigma(N_i \times d_i^2)$, et la surface du globule gras $S=6 / (\rho \times d_{3,2})$ (avec $N_i$ le nombre de globules gras dans la classe de diamètre $d_i$ et la densité ρ de la particule considérée, 0,92 pour la matière grasse) ont été calculés par le logiciel Malvern.

Pour la mesure du diamètre des micelles de caséines, le lait a été écrémé par deux centrifugations successives. Le diamètre $d_{4,3} = \Sigma (N_i x d_i^4) / \Sigma (N_i x d_i^3)$ a été mesuré avec le Mastersizer 3000.

### 1.3 ANALYSES STATISTIQUES

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel SAS (SAS 9.2 Institute Inc., Cary, Caroline du Nord, États-Unis). Les effets de l'intervalle entre traites (10-14, 12-12 et 14-10) ont été évalués sur les laits des traites du matin et du soir et sur le lait total de la journée. Le modèle statistique était un modèle mixte (procédure MIXED de SAS) qui incluait la vache, la période et le rythme de traite.

$Y_{ijkl} = \mu + Vache_i + Période_j + IntervalleTraite_k + \varepsilon_{ijk}$

Le seuil de signification statistique a été fixé à $P < 0,05$, tandis que celui d'une tendance a été fixé à $P < 0,10$.

## 2. RESULTATS

### 2.1. PRODUCTION LAITIERE

La modification de l'intervalle de traite n'a eu d'effet ni sur la production laitière journalière (33,2, 33,6 et 33,2 kg/j pour les traitements 10-14, 12-12 et 14-10), ni sur les taux butyreux (40,7, 40,2 et 41,1 g/kg) et protéique (30,5, 30,7, 30,4 g/kg), ni sur la production de matières grasses (1348,1353,1367 g/j), protéiques (1009, 1032, 1013 g/j) et de lactose (1617, 1661, 1621 g/j). Seule la teneur en lactose du lait a été plus élevée avec le traitement 12-12 (+0,8 g/kg).

Le matin, la production laitière a été la plus élevée avec le traitement 10-14, intermédiaire avec le traitement 12-12 et plus faible avec le traitement 14-10. Le soir le résultat a été inversé (Tableau 1). Le taux butyreux a été significativement plus élevé dans les laits du soir avec le traitement 10-14 (+3,8 g/kg) et dans les laits du matin avec le traitement 14-10 (+4,0 g/kg). Le taux protéique a été significativement plus faible dans les laits du soir avec le traitement 10-14 (-1,5 g/kg) et dans les laits du matin avec le traitement 14-10 (-1,8 g/kg). Les résultats obtenus avec le traitement 12-12 pour les taux butyreux et protéique ont été intermédiaires et constants entre matin et soir. La teneur en lactose a été similaire entre les 3 traitements dans le lait du matin et a été plus élevée avec le traitement 12-12 dans les laits du soir (+1,5 g/kg).

### 2.2. LIPOLYSE

Le traitement 10-14 a provoqué une augmentation de la lipolyse dans les laits du soir (+0,22 mEq/100 g MG) associée à un taux butyreux également plus élevé (+3,6 g/kg). En parallèle, le traitement 14-10 a eu tendance à entraîner une augmentation de la lipolyse dans les laits du matin (+0,19 mEq/100 g MG) également associée à un taux butyreux plus élevé (+4,4 g/kg). Le traitement 12-12 a eu des résultats similaires au traitement 10-14 le matin et au traitement 14-10 le soir. Cependant, la lipolyse a été numériquement plus élevée dans le lait du soir que dans le lait du matin (+0,10 MEq/100 g MG). Le diamètre des globules gras et la surface spécifique n'ont pas été modifiés par les intervalles de traite (Tableau 2).

| | | Intervalles entre traites | | | SEM | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10 h – 14 h | 12 h – 12 h | 14 h – 10 h | | Intervalle traite |
| Lait, kg/j | Matin | 19,2[a] | 17,4[b] | 15,5[c] | 1,29 | <0,001 |
| | Soir | 13,9[c] | 16,0[b] | 17,8[a] | 1,18 | <0,001 |
| Teneur en caséines, g/kg | Matin | 25,8[a] | 25,2[a] | 24,2[b] | 1,38 | 0,004 |
| | Soir | 24,9 | 25,8 | 26,0 | 1,47 | 0,061 |
| Ratio $Na^+/K^+$ | Matin | 0,161 | 0,162 | 0,162 | 0,0057 | 0,501 |
| | Soir | 0,159[b] | 0,169[a] | 0,174[a] | 0,0080 | <0,001 |
| Citrate, g/L | Matin | 1,94[a] | 1,87[a] | 1,72[b] | 0,141 | <0,001 |
| | Soir | 1,94[b] | 2,03[a] | 2,10[a] | 0,127 | 0,002 |

**Tableau 1** Effet de l'intervalle de traite et du moment de la traite sur la production du lait, la teneur en caséines, le ratio $Na^+/K^+$ et la teneur en citrate.

| | | Intervalles entre traites | | | SEM | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10 h – 14 h | 12 h – 12 h | 14 h – 10 h | | Intervalle traite |
| Lipolyse, mEq/100 g MG | Matin | 0,34 | 0,35 | 0,53 | 0,289 | 0,077 |
| | Soir | 0,62[a] | 0,45[b] | 0,40[b] | 0,236 | 0,017 |
| Taux butyreux, g/kg | Matin | 41,2[b] | 42,9[b] | 45,6[a] | 3,45 | 0,002 |
| | Soir | 44,2[a] | 41,4[b] | 40,6[b] | 3,43 | 0,006 |
| Diamètre des globules gras ($d_{4,3}$), µm | Matin | 4,43 | 4,43 | 4,45 | 0,253 | 0,947 |
| | Soir | 4,41 | 4,42 | 4,52 | 0,196 | 0,170 |
| Surface spécifique (s), $m^2$ | Matin | 1,78 | 1,79 | 1,78 | 0,076 | 0,913 |
| | Soir | 1,80 | 1,79 | 1,77 | 0,052 | 0,130 |

**Tableau 2** Effet de l'intervalle de traite et du moment de la traite sur la lipolyse du lait (mesures effectuées le jour de la mesure de la lipolyse).

### 2.3. COMPOSITION FINE DU LAIT

Les teneurs en matières azotées totales et en caséines ont été plus élevées avec les traitements 10-14 et 12-12 le matin et avec les traitements 12-12 et 14-10 le soir (Tableau 1). Concernant les minéraux, la teneur en phosphore total a été plus élevée avec les traitements 10-14 et 12-12 le matin (992 et 965 mg/kg vs. 927 mg/kg) et 12-12 et 14-10 le soir (989 et 977 mg/kg vs. 965 mg/kg). Le rapport $Na^+/K^+$, indicateur d'une ouverture des jonctions serrées dans la glande mammaire, n'a augmenté que pour la traite du soir avec les traitements 12-12 et 14-10 (Tableau 1). La teneur en citrate a été également plus élevée avec les traitements 10-14 et 12-12 le matin et 12-12 et 14-10 le soir (Tableau 1).

## 3. DISCUSSION

L'absence de variation sur la journée de la production laitière, des taux butyreux et protéique, avec les intervalles de traite 10-14, 12-12 et 14-10 est en accord avec les résultats de Rémond et al (2009) obtenus avec des intervalles modérés entre les 2 traites (<17 h). L'augmentation de la teneur en lactose avec l'intervalle 12-12 est une conséquence d'une teneur plus élevée en lactose dans le lait du soir.

La fluctuation de la lipolyse entre traite du matin et du soir ne semble pas liée au nycthémère, mais plutôt à l'intervalle entre traites. En effet, la diminution de l'intervalle entre traites est accompagnée d'une augmentation de la lipolyse (Wiking et al., 2006). La réduction de cet intervalle pourrait pénaliser la reconstitution de la membrane qui entoure les triglycérides qui n'aurait pas le temps de se reformer, rendant les globules gras plus sensibles à la lipolyse (Connolly, 1978). De plus, selon Sundheim (1988), la lipoprotéine lipase n'est pas stable à 35°C. Il se pourrait que la durée de stockage du lait influe sur l'activité de cette enzyme ce qui expliquerait des teneurs en acides gras libres plus faibles après des temps de stockage longs (dans le lait du matin pour 10-14 et dans celui du soir pour 14-10). Une autre explication pourrait être liée à la teneur en matières grasses plus élevée avec des intervalles entre traites plus courts qui serait associée à plus d'acides gras libres (Bachman et al, 1988 ; Tousova et al, 2013). Dans cette expérimentation, nous n'avons pas trouvé de corrélation entre la lipolyse, le taux butyreux et la surface des globules gras comme Murphy et al (1979).

De la même façon, pour les paramètres de composition fine du lait, il semblerait que ce soit l'intervalle entre traites, donc la durée de stockage du lait dans la mamelle qui soit importante, et non le nycthémère. L'allongement de l'intervalle entre traites permet une synthèse plus importante des nutriments principaux du lait (protéines, caséines, lactose, matières grasses). Ce serait également le cas pour le citrate, qui serait synthétisé à une vitesse constante à partir du glucose et de l'acétate et qui n'aurait pas le même mécanisme d'action que les ions $Na^+$ et $K^+$ (Linzell et al, 1976).

## CONCLUSION

Cette étude originale laisse encore en suspens un certain nombre de questions à propos des mécanismes d'action de la lipolyse. Certains résultats comme l'activité de la lipoprotéine lipase et le profil en acides gras des laits aideront probablement à expliquer ces différences entre laits issus de la traite du matin et du soir associés à des intervalles de traite différents et probablement non liés à la succession jour-nuit.

*Cette étude a été soutenue par l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du projet LipoMEC (ANR-19-CE21-0010). Les auteurs remercient P. Lamberton, responsable de la ferme expérimentale l'IE PL, INRAE, Nutrition et physiologie laitières, et son équipe – V. Avignon, G. Boullet, A. Le Croizier, A. Mottin, J. Orinel, J. Parois, F. Pichot, P. Pichot et D. Sidaner – pour leurs contributions aux soins des animaux et à l'échantillonnage du lait. Ils remercient également P. Debournoux-Poton, N. Huchet, M. Lemarchand, T. Le Mouël, C. Perrier (PEGASE, INRAE, Saint-Gilles, France) et S. Emery (Herbivores, INRAE, Saint-Genès-Champanelle, France) pour leur assistance technique.*

**Bachman K.C., Hayen M.J., Morse D., Wilcox C.J., 1988**. J. Dairy Sci., 71, 925-931

**Bernard L., Rouel J., Leroux C., Ferlay A., Faulconnier Y., Legrand P., Chilliard Y., 2005**. J. Dairy Sci., 88, 1478-1489.

**Connolly J., 1978.** In Proc. 20th International Dairy Congress, Paris
(France), 26 Juin 1978.

**Linzell J.L., Mepham T.B., Peaker M., 1976.** J. Physiol. et al, 260, 739-750

**Murphy J.J., Connolly J.F., Headon D.R., 1979**. Irish J. Food Sci. Technol., 3, 131-149

**Rémond B., Pomiès D., Julien C., Guinard-Flament J., 2009**. Animal, 3, 1463-1471

**Shipe W.F., Senyk G.F., Fountain K.B., 1980.** J Dairy Sci, 63, 193-198

**Sundheim G., 1988.** J. Dairy Sci., 71, 620-626

**Tousova R., Stadnik L., Duchacek J., 2013.** Czech J. Food Sci., 31, 20-26

**Vanbergue E., Peyraud J.L., Guinard-Flament J., Charton C., Barbey S., Lefebvre R., Gallard Y., Hurtaud C., 2016.** J. Dairy Sci., 99, 5739–5749

**Wiking, L., Nielsen J.H., Båvius A.K., Edvardsson A., Svennersten-Sjaunja K., 2006.** J. Dairy Sci., 89,1004-1009

# Gestion des litières paillées en élevage caprin : un levier de maîtrise face au risque STEC en filière lait cru

LE CHENADEC H. (1), MINIER M. (1), MASSELIN-SILVIN S. (1), BOYER C. (1), CHAIX M. (1), DE CREMOUX R. (1), DEGABRIEL P. (3), FORRAY L. (5), LAITHIER C. (1), MORGE S. (4), POMMARET A. (2), PRADIER A. (2), RAYNAUD S. (1), ROUSSEL P. (1), SICURANI L. (5), ULRICH P. (2), YVOREL QUINCARD C. (3)
(1) Institut de l'élevage, Agrapole, 23, rue Jean Baldassini, 69364 LYON CEDEX 07
(2) Ferme expérimentale caprine du Pradel, 950 chemin du Pradel, 07170 Mirabel
(3) AGRIAL, 1 Rue Albert Fié, 26400 Crest
(4) Chambre d'Agriculture de l'Ardèche, 4 Av. de l'Europe Unie, 07000 Privas
(5) Fromagerie de la Drôme, 6 La Condamine, 26400 Aouste-sur-Sye

**RESUME -** Lors de certains épisodes de contamination par les STEC HP (*Escherichia coli* producteurs de shigatoxine hautement pathogène) en élevages caprins, l'entretien de la litière est apparu comme un levier essentiel de maîtrise. Cette étude avait pour objectif d'identifier des pratiques préventives favorisant le contrôle du risque de contamination fécale, puis d'objectiver en conditions expérimentales l'impact de deux pratiques identifiées : la quantité de paille et la fréquence de paillage. Pour cela, une méthodologie de caractérisation des litières caprines a été développée, permettant sur un cycle complet d'accumulation d'estimer la contamination fécale en surface et d'approcher les paramètres physico-chimiques de la litière. Les résultats ont montré une forte variabilité de la contamination fécale en surface des litières entre les différentes semaines d'accumulation, et aucun lien n'a pu être mis en évidence entre la quantité d'*E. coli* et les paramètres de la litière, notamment la température. Des pratiques en lien avec la contamination fécale des litières ont pu être mises en avant, telles que la densité de chèvre sur l'aire paillée, la fréquence de paillage ou encore la quantité de paille. Une augmentation progressive de la température de la litière avec sa durée d'accumulation a été observée, ainsi qu'un échauffement de la litière en cas de paillage trop abondant. Enfin, un paillage quotidien permet de limiter la contamination en *E. coli* (- 0,66 log) par rapport à un paillage de 3 fois par semaine. Ces résultats confortent les études sur les litières bovines, mais l'absence d'indicateur mesurable comme la température pour approcher le risque de contamination fécale fait défaut. Cependant, l'analyse de l'impact des pratiques de gestion de la litière en lien avec la contamination fécale conforte les messages sur les bonnes pratiques d'entretien, dont l'objectif est une litière propre et sèche.

# Straw litter management in dairy goat cattle: a lever of control to face STEC risk in raw milk production

LE CHENADEC H. (1), MINIER M. (1), MASSELIN-SILVIN S. (1), BOYER C. (1), CHAIX M. (1), DE CREMOUX R. (1), DEGABRIEL P. (3), FORRAY L. (5), LAITHIER C. (1), MORGE S. (4), POMMARET A. (2), PRADIER A. (2), RAYNAUD S. (1), ROUSSEL P. (1), SICURANI L. (5), ULRICH P. (2), YVOREL QUINCARD C. (3)
(1) Institut de l'élevage, Agrapole, 23, rue Jean Baldassini, 69364 LYON CEDEX 07

**SUMMARY -** During certain episodes of STEC HP (Shiga-toxin *Escherichia coli*) contamination in goat farms, litter management appeared to be an essential control lever. The objective of this study was to identify preventive practices to face the risk of fecal contamination, and then to objectivize under experimental conditions the impact of two identified practices: straw quantity and mulching frequency. For this, a methodology to characterize goat litter was developed, allowing the estimate of fecal contamination on the surface, and approaching the physico-chemical parameters of goat litter over a full accumulation cycle. The results showed a strong variability of fecal contamination on the surface of the litter between the different weeks of accumulation, and no link could be found between the quantity of *E. coli* and the parameters of the litter, including temperature. Practices related to fecal contamination were identified, such as goat density, frequency of mulching and amount of straw. A progressive increase of the litter temperature with the duration of accumulation was observed, as well as a heating of the litter in case of abundant mulching. Finally, daily mulching reduced *E. coli* contamination (- 0.66 log) compared to mulching 3 times per week. These results support the studies on cattle litter, but the lack of a measurable indicator such as temperature to approach the risk of fecal contamination is lacking. However, analysis of the impact of litter management practices in relation to fecal contamination supports messages about good litter management practices, leading to a clean and dry litter.

## INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, les STEC HP, pouvant être responsables de graves pathologies chez l'Homme, menacent les filières au lait cru. D'origine fécale, ces bactéries appartenant à la famille des *Escherichia coli* (*E. coli)*, présentes dans le tube digestif des ruminants, peuvent se trouver accidentellement dans le lait via une contamination par les déjections des animaux, et potentiellement dans les produits laitiers non pasteurisés. Cette problématique préoccupe les acteurs de la filière, notamment caprine, qui sont en attente de leviers d'action concrets pour faire face à une contamination du lait. Le projet MaLiSTEC (Mamelle-Litière-STEC) a ainsi proposé d'étudier comment limiter le passage des STEC HP du tube digestif au lait, à deux niveaux, la litière et les trayons, par le suivi des *E. coli*, indicateur de contamination fécale. Les études menées ont mis en évidence que **l'entretien de la litière est un levier essentiel de maîtrise, ce que les suivis en élevages caprins confrontés aux STEC ont confirmé** (Raynaud *et al.*, 2022). Il était alors nécessaire de mieux connaître les caractéristiques des litières caprines, d'identifier des pratiques préventives favorisant le contrôle du risque de contamination fécale, et d'objectiver l'impact de ces pratiques en conditions expérimentales.

# 1. MATERIEL ET METHODES

## 1.1. CARACTERISATION DES LITIERES CAPRINES

### 1.1.1 Choix des exploitations enquêtées

Un questionnaire en ligne a permis de sélectionner 25 élevages caprins de la région Auvergne-Rhône-Alpes (AuRA), représentant des pratiques diversifiées d'entretien des litières paillées : fréquences de curage et de paillage, quantité de paille introduite, utilisation ou non de produits (larvicide, asséchant, désinfectant) après le paillage et/ou le curage, etc. Les caractéristiques des élevages et les pratiques pouvant avoir un impact sur la litière ont été détaillées lors des visites dans chacun des 25 élevages grâce à un second questionnaire. Les données récoltées, toutes qualitatives, ont fait l'objet d'une analyse descriptive (tris à plat et diagrammes circulaires à l'aide du logiciel Microsoft Excel®, version 2019) afin de caractériser l'échantillon.

### 1.1.2. Suivi des litières paillées sur un cycle complet d'accumulation

Pendant un cycle complet d'accumulation, de mi-mai à fin octobre 2020, des prélèvements et mesures au niveau de la litière ont été réalisés juste avant le paillage, à raison de trois à six suivis au maximum par élevage. La fréquence des suivis a été adaptée afin d'optimiser le nombre de semaines en commun pour les 25 élevages, sur des durées d'accumulation allant de 3 à 17 semaines (tableau 1). Ces suivis ont permis de récolter les données quantitatives suivantes : température et hygrométrie (à l'extérieur du bâtiment et à l'intérieur du bâtiment à 30 cm au-dessus de la litière) ; température de la litière (à 3,5 et 10 cm de profondeur) ; pH et matière sèche de la litière en surface ; dénombrement d'*E. coli* estimé par deux méthodes (pédichiffonnettes et prélèvement de litière avec broyat).

Les données de suivi ont fait l'objet d'une analyse descriptive (logiciel R®, version 3.5.3) avec pour objectif d'observer l'évolution des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des litières au fil des semaines d'accumulation. Pour toutes les analyses, les paramètres bactériologiques (dénombrement d'*E. coli*) ont été convertis au préalable en logarithme base 10. Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée sur les paramètres bactériologiques des litières (dénombrement d'*E. coli* par pédichiffonnette et par prélèvement), avec les données des semaines d'accumulation 1, 2, 3, 6 et dernière semaine avant curage (pouvant varier selon les élevages). Les pratiques d'élevage et les paramètres physico-chimiques des litières correspondent aux variables illustratives. Les résultats montrant que le nombre d'*E. coli* obtenu par pédichiffonnette est indépendant de celui prélevé par prélèvement, deux nouvelles ACP ont été réalisées : l'une sur les dénombrements d'*E. coli* obtenus par pédichiffonnette, l'autre sur ceux obtenus par prélèvement de litière et broyat. Une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été réalisée à la suite de chacune des deux ACP, permettant d'obtenir deux typologies classant les élevages selon le niveau de contamination bactériologique de leur litière. Les différentes classes d'élevage obtenues ont été caractérisées par les moyennes de toutes les variables, actives comme illustratives. Ces moyennes ont ensuite été comparées aux moyennes globales de l'échantillon grâce à un test de Student (seuil de signification $p < 0,1$). Plus l'écart entre la moyenne de la classe et la moyenne globale est élevé, plus la variable est caractéristique de la classe en question.

## 1.2. EVALUATION DE L'IMPACT DE PRATIQUES D'ENTRETIEN DES LITIERES EN STATION EXPERIMENTALE

À la suite du travail mené en 2020 sur les 25 élevages de la région AuRA, deux pratiques ont été sélectionnées par le comité de pilotage du projet, la quantité de paille et la fréquence de paillage, afin de mener des essais comparatifs à la ferme expérimentale du Pradel. Le plan expérimental mis en place est décrit dans le tableau 2. Deux lots de 48 chèvres ont été conduits sur deux aires paillées similaires (surface, nombre d'abreuvoirs et nature du sol), pendant trois périodes (P1, P2 et P3) d'accumulation de litière de 10 semaines, de mars à septembre 2021. La mise en lot a été effectuée, à chaque période, sur des critères connus, à savoir le stade physiologique, le poids, la parité et l'âge. Pour chaque période, tous les animaux ont eu un régime alimentaire similaire, avec le cas échéant lors des phases de pâturage, alternance de chaque lot sur les parcelles. Un lot a constitué le témoin de l'expérimentation et l'autre a permis de tester les deux changements de pratiques différentes sur les périodes successives. La comparaison s'est effectuée sur un cycle d'accumulation entre 2 curages, par rapport au lot témoin à la même période. Le suivi des litières a été effectué chaque semaine avant paillage, avec différentes mesures et prélèvements au niveau des litières : température et hygrométrie (à l'extérieur du bâtiment, à l'intérieur du bâtiment à 30 cm de la litière) ; température de la litière (à 3,5 cm de profondeur) ; dénombrement d'*E. coli* estimé par deux méthodes (pédichiffonnettes et prélèvement de litière avec broyat). En raison d'un problème sanitaire sur le troupeau nécessitant d'avancer la date du curage, la 3ème période a été écourtée à 6 semaines. Afin d'exploiter les données quantitatives, deux jeux de données ont alors été utilisés pour réaliser les analyses statistiques descriptives et analyses de la variance : jeu de données A : périodes P1, P2 et P3 et 6 semaines d'accumulation de litière ; jeu de données B : périodes P1 et P2 et 10 semaines d'accumulation de litière.

| N° de la semaine d'accumulation | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 13 | 17 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nombre d'élevages | 25 | 25 | 25 | 4 | 4 | 20 | 10 | 5 | 8 | 4 | 3 | 1 |

**Tableau 1** Nombre d'élevages par semaine d'accumulation

*A titre d'exemple, tous les élevages (25) ont bénéficié d'un suivi les semaines 1, 2 et 3 ; un seul élevage pour la semaine 17.*

| | | **Période 1 (P1)** Durée : 10 semaines | **Période 2 (P2)** Durée : 10 semaines | **Période 3 (P3)** Durée : 6 semaines |
|---|---|---|---|---|
| **Lot Témoin** | Fréquence de paillage | 3 fois/semaine | 3 fois/semaine | 3 fois/semaine |
| | Quantité de paille par chèvre par semaine | 5 kg/chèvre/semaine | 5 kg/chèvre/semaine | 5 kg/chèvre/semaine |
| **Lot Expérimental** | Fréquence de paillage | 3 fois/semaine | 1 fois/jour | 1 fois/jour |
| | Quantité de paille par chèvre par semaine | 7 kg/chèvre/semaine | 5 kg/chèvre/semaine | 7 kg/chèvre/semaine |

**Tableau 2** Plan expérimental des essais comparatifs sur les trois périodes

# 2. RESULTATS

## 2.1. CARACTERISATION DES LITIERES CAPRINES EN REGION AUVERGNE-RHONE-ALPES

### 2.1.1. Des pratiques de gestion des litières diversifiées

Après la phase de suivi des litières en 2020, les données qualitatives ont permis de caractériser l'échantillon des 25 élevages et de montrer la diversité au niveau des pratiques de gestion des litières (tableau 3). Les quantités de paille apportée par paillage variaient de 0,1 à 2,8 kg/m², et les quantités après curage de 0,7 à 5,6 kg/m². Sur les aires paillées suivies, la surface par chèvre variait de 1,2 à 3,8 m²/chèvre, avec une moyenne de 1,9 m²/chèvre.

| Fréquence de paillage | Effectifs | Fréquence de curage | Effectifs |
|---|---|---|---|
| 1 à 2 fois par jour | 6 | 3 à 5 semaines | 6 |
| Tous les 2 jours | 9 | 6 à 7 semaines | 8 |
| Tous les 3 jours | 5 | 8 à 9 semaines | 7 |
| Tous les 5 à 7 jours | 5 | 10 à 17 semaines | 4 |

**Tableau 3** Nombre d'exploitation (effectifs) par modalité pour la fréquence de paillage et de curage

### 2.1.2. Contamination en *E. coli* et paramètres physico-chimiques des litières régionales

L'analyse descriptive des données quantitatives a mis en évidence une forte variabilité de la contamination en *E. coli* des litières des 25 élevages régionaux. Aucun lien n'a pu être mis en évidence entre la contamination en *E. coli* des litières (pour les deux méthodes de prélèvement) et la température (figure 1), les autres paramètres physico-chimiques relevés en 2020 (matière sèche, pH), ni avec les paramètres d'ambiance (température et hygrométrie au niveau de la litière et à l'extérieur du bâtiment). Les résultats de caractérisation physico-chimique des litières ont permis pour la suite de l'étude de simplifier le protocole. Ainsi les mesures de pH et les analyses du taux de matière sèche en surface de la litière ne sont pas reconduites en 2021. La température de la litière à 10 cm de profondeur étant fortement corrélée à celle à 3,5 cm, seule cette dernière est conservée.

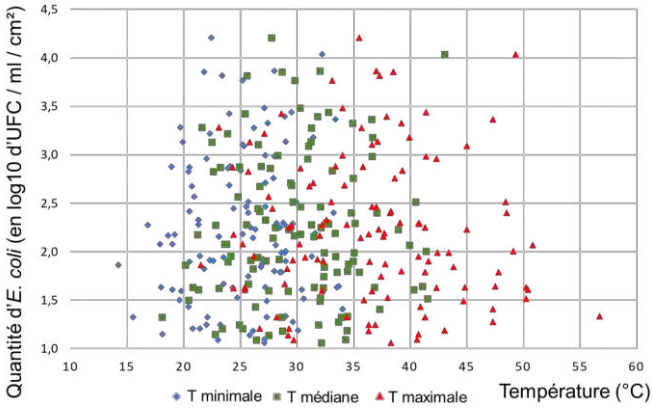



**Figure 1** Quantité d'*E. coli* en fonction de la température (minimale, médiane et maximale) à 3,5 cm de profondeur

### 2.1.3. Pratiques en lien avec la contamination en *E. coli* des litières

Les typologies issues des CAH classant les élevages selon le niveau de contamination bactériologique de leur litière (d'après les deux méthodes de prélèvement) ont permis de dégager des pratiques apparaissant à risque - *pratiques chez des groupes d'élevages avec des contaminations en* E. coli *plus élevées que la moyenne* - et des pratiques permettant a priori de limiter le risque de contamination fécale - *pratiques chez des groupes d'élevages avec des contaminations en* E. coli *moins élevées que la moyenne*. À l'aide de ces résultats (tableau 4), le comité de pilotage du projet a sélectionné deux pratiques, la quantité de paille et la fréquence de paillage, afin de mener des essais comparatifs à la ferme expérimentale du Pradel. Ce choix résulte d'un compromis entre les résultats, les attentes des acteurs de la filière caprine et la faisabilité du dispositif expérimental, à la fois technique et analytique.

## 2.2. RESULTATS EN CONDITIONS EXPERIMENTALES

### 2.2.1. Température et hygrométrie d'ambiance

À la suite de l'essai comparatif de 2021, il a été montré que les températures mesurées à l'extérieur du bâtiment suivent la même évolution que celles à l'intérieur du bâtiment au niveau de l'aire paillée (coefficient de corrélation $r^2>0,8$). Il en est de même pour l'hygrométrie. Nous parlons alors de température et d'hygrométrie d'ambiance. Les trois périodes sont difficilement caractérisées par l'hygrométrie, les variations intra-période de cette variable étant plus importantes qu'entre les périodes. Concernant les températures d'ambiance, la P1 peut être décrite comme plutôt printanière, tandis que les P2 et P3, qui sont similaires, sont plutôt estivales. L'analyse de la variance vient conforter cette descriptive : la température au niveau de l'aire paillée est en moyenne significativement plus élevée (test de Student $p < 0,05$) de respectivement 8,5 °C et 8,4 °C pour les P2 et P3 par rapport à la P1.

### 2.2.2. Température de la litière

Pour les trois périodes, on observe une augmentation progressive de la température de la litière avec la durée d'accumulation (figure 2). L'analyse de la variance vient conforter ces observations : le facteur semaine, correspondant à la durée d'accumulation, est significatif (test de Student $p < 0,05$), et les différences de températures de la litière entre deux semaines sont significatives principalement en début de période d'accumulation. La tendance est donc à l'augmentation de la température de la litière sur l'ensemble de la période d'accumulation (figure 2). On observe également que 1/ la température de la litière du lot expérimental est supérieure à celle du lot témoin pour la P1 et P3 (ce qui correspond à la quantité de paille de 7 kg/chèvre/semaine) et 2/ la température de la litière du lot expérimental est comparable à celle du lot témoin pour la P2 (ce qui correspond à la quantité de paille de 5 kg/chèvre/semaine). L'analyse de la variance montre en effet de façon significative qu'un **paillage plus abondant entraine une augmentation de la température de la litière**. Ainsi les températures de litière mesurées au niveau des abreuvoirs étaient plus élevées de 3,6 °C en moyenne lorsque la quantité de paille apportée par paillage était la plus importante (7 kg par chèvre et par semaine contre 5 kg).

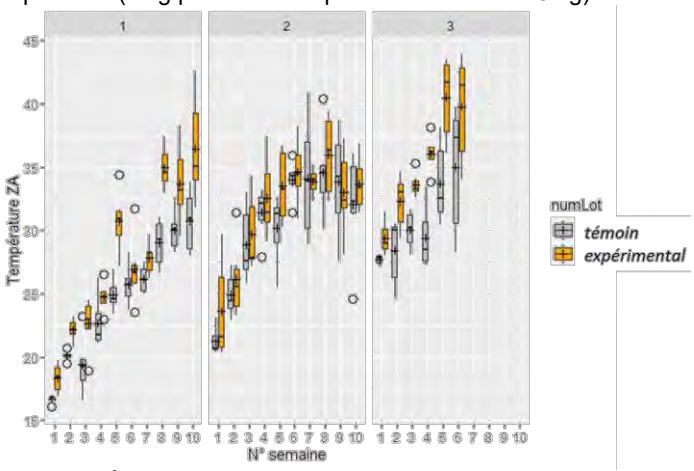



**Figure 2** Évolution des températures de la litière (en °C) durant les 3 périodes d'accumulation, au niveau des abreuvoirs

### 2.2.3. Dénombrement d'*E. coli*

Tout comme les résultats obtenus en 2020 (*cf. 2.1.2.*), l'essai mené en 2021 n'a pas permis de mettre en évidence de lien entre les températures et hygrométries au niveau de la litière et la contamination en *E. coli* (corrélation variant de 0,15 à 0,51), pour les deux méthodes de prélèvement. Les variations du nombre d'*E. coli* intra-périodes sont plus importantes qu'entre les périodes 1, 2 et 3.

L'impact des pratiques testées (fréquence et quantité de paille) sur la contamination en *E. coli* n'a pas pu être démontré de façon significative avec le jeu de données A (*cf. 1.2.*) : la variation entre les différentes semaines d'accumulation est plus importante que l'écart entre lot témoin et lot expérimental. Cependant, on observe tout de même en tendance que la contamination en *E. coli* est moins élevée (de l'ordre de 0,1 à 0,3 log selon les zones de la litière et la méthode de prélèvement) avec une fréquence de paillage d'une fois par jour. La 2ème analyse réalisée (jeu de données B) a cette fois permis de montrer de façon significative l'impact de la fréquence de paillage sur la contamination en *E. coli* (estimée par pédichiffonnette). Ainsi

un paillage quotidien permet de limiter la contamination en *E. coli* (- 0,66 log par rapport à un paillage de 3 fois par semaine, tableau 5). Toutefois cette 2ème analyse ne permet pas de tester l'interaction quantité de paille avec fréquence de paillage (en ne travaillant que sur P1 et P2, on ne teste pas la combinaison 7kg/chèvre/semaine, 1 fois/jour).

| Pratiques apparaissant « à risque » | Pratiques permettant potentiellement de limiter la contamination |
|---|---|
| - **Moins de surface par chèvre** (<1,93 m²/chèvre *)<br>- **Fréquence de paillage supérieure ou égale à 3 jours**<br>- Pas de sortie libre ou sortie à la journée des chèvres **<br>- Quantité de paille par paillage plus élevée (>0,92 kg/m² *) | - **Fréquence de paillage inférieure ou égale à 2 jours**<br>- **Sortie libre des chèvres** **<br>- Quantité de paille plus élevée au curage (>2,5 kg/m² *)<br>- Utilisation d'un produit au curage<br>- Sous-sol en terre battue |

**Tableau 4** Pratiques ayant un impact significatif sur la contamination en *E. coli* des litières. **En gras** les pratiques ressorties dans la caractérisation des groupes issus des deux CAH (deux méthodes de prélèvement : pédichiffonnette et prélèvement)

** moyenne des 25 élevages caprins ** Sortie libre : les chèvres sortent librement 24 h sur 24 sur une aire d'exercice. Sortie à la journée / Sortie à la demi-journée : sortie une demi-journée au pâturage et/ou sur une aire d'exercice.*

| Fréquence de paillage | Estimation | Écart-type | ddl | Intervalle de confiance 95 % | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 fois / jour | 3,51 | 0,18 | 20 | 3,14 | 3,89 |
| 3 fois / semaine | 4,17 | 0,11 | 20 | 3,94 | 4,40 |

**Tableau 5** Moyennes ajustées de la contamination en *E. coli* (log) par fréquence de paillage

## 3. DISCUSSION

Plusieurs résultats de cette étude sont en accord avec les éléments de littérature en litière bovine. Le niveau de contamination en surface de la litière caprine avec un paillage quotidien est inférieur à celui obtenu avec un paillage de 3 fois par semaine (- 0,66 log10/g). Pour les litières bovines, Ménard *et al.* ont également montré qu'un paillage plus régulier (biquotidien contre quotidien) permettait de diminuer la contamination en surface de la litière, un écart de 0,5 log10/g minimum étant proposé. Des études similaires (Ménard *et al.*, 2001, 2003) ont également montré que la température augmente avec le stade d'accumulation de la litière en bovin, ainsi qu'en cas de paillage plus abondant, ce qui est confirmé pour les litières caprines avec notre étude. Cependant, aucun lien entre la température de la litière caprine et le nombre d'*E. coli* n'a pu être mis en évidence, ni avec aucun autre paramètre physico-chimique de la litière (pH, matière sèche). L'optimum de croissance de cette bactérie (35 à 40 °C) a pourtant bien été atteint à plusieurs reprises à différents endroits des litières, en particulier en fin de période d'accumulation. Cette observation laisse supposer que d'autres facteurs influencent la quantité d'*E. coli* en surface, notamment les pratiques d'élevage avec, pour notre étude, la fréquence de paillage dont l'impact est significatif. D'autres pratiques à risque vis-à-vis de la contamination fécale ont également été mis en évidence, comme une forte densité des chèvres sur la litière. La température de la litière est pourtant un indicateur fréquemment utilisé en litière bovine, afin d'optimiser les apports de paille et pour rechercher la durée d'accumulation optimum entre 2 curages. Bien qu'aucune étude n'ait encore statué de seuil pour les litières caprines, la température est parfois utilisée comme indicateur de déclenchement du curage. D'autres paramètres doivent cependant intervenir dans la décision de curer : humidité, hauteur de la litière, approche de période particulière (période chaude, mise-bas), etc. Les résultats de dénombrements en *E. coli* ne sont pas corrélés entre les deux méthodes de prélèvement, une différence importante étant que la méthode de prélèvements de litière inclus des prélèvements de fèces et de paille, ce qui n'est pas le cas des pédichiffonnettes. Concernant ces dernières, leur utilisation s'est avérée bien adaptée pour échantillonner les litières des petits ruminants dans l'étude STECAMONT (Raynaud *et al.*, 2018). Bien qu'elles soient davantage utilisées pour évaluer la présence ou l'absence d'un pathogène, et non pour effectuer des dénombrements, elles sont faciles à mettre en œuvre en élevage et sont plus représentatives de la zone en contact direct avec la mamelle des chèvres, et donc du risque de contamination fécale. D'après Raynaud *et al.*, elles permettraient d'ailleurs d'approcher davantage le risque STEC HP, ces derniers étant plus fréquemment retrouvé à partir des pédichiffonnettes que des fèces des animaux.

## CONCLUSION

Les résultats de ces essais ont montré qu'un paillage quotidien permet de limiter la contamination en *E. coli,* mais le lien supposé entre les paramètres de la litière (température, pH, matière sèche) et la quantité d'*E. coli* n'a pas pu être démontré. Une augmentation progressive de la température de la litière avec sa durée d'accumulation a été observée, ainsi qu'un échauffement de la litière lors de paillage trop abondant, ce qui est en accord avec les observations sur les litières bovines. Si pour les éleveurs caprins, l'identification d'un indicateur tel que la température pour approcher le risque de contamination fécale peut faire défaut, le lien entre les pratiques d'entretien de la litière et la contamination fécale en surface renforce les messages techniques sur les bonnes pratiques d'entretien des litières, à savoir une litière propre et sèche.

*Le projet MaLiSTEC (2020-2021) a bénéficié du soutien financier de la région AuRA et de l'ANICAP. Nous remercions les éleveurs caprins ayant participé à cette étude en 2020, ainsi que l'ensemble des techniciennes ayant effectué les suivis, et la ferme expérimentale du Pradel, pour la bonne mise en œuvre de ce projet.*

**Collectif Idele, 2022**. Projet CASTEC. Maîtrise des Escherichia coli productrices de shiga-toxines (STEC) en élevage caprin. 6 pages.

**Ménard J.L, Roussel P., Masselin-Silvin S., Puthod R., Hetreau T., Foret A., Houssin B., Aracil C.,Le Guenic M., 2004**. Renc. Rech. Ruminants, 11 : 333-336

**Raynaud S., Ganet S., Michel V., Brugère H., Auvray F., Bergonier D., Forray L., Brasseur F., Bourreau P., Roussel P., Bailly C., Le Barillec K., Chaucheyras-Durand F., Picant P., Sergentet D., 2005**. Renc. Rech. Ruminants, 24 : 408-411

# Effet de l'inclusion de peaux de châtaigne dans la ration des agneaux sur la qualité de la viande

## *Effect of the inclusion of chestnut shells in the diet of lambs on meat quality*

MENCI R. (1), NATALELLO A. (1), ALESSANDRO S. (1), MANGANO F. (1), TORRENT A. (2), LUCIANO G. (1), PRIOLO A. (1), NIDERKORN V. (2)

(1) Département Di3A, Università di Catania, via Valdisavoia 5, 95123 Catania, Italie.
(2) INRAE, Université Clermont Auvergne, Vetagro Sup, UMRH, 63122, Saint-Genès-Champanelle, France.

## INTRODUCTION

Alimenter des animaux avec des sous-produits agro-industriels contribue à réduire le gaspillage et la compétition food vs feed, tout en favorisant l'utilisation de ressources locales (Salami *et al*., 2019). Les peaux de châtaigne (PC) sont un sous-produit très peu étudié, riche en tanins hydrolysables. Les tanins alimentaires peuvent améliorer le profil en acides gras de la viande de ruminants en agissant contre la biohydrogénation ruminale. L'objectif de cette étude était de mesurer l'effet de l'inclusion des PC dans la ration d'agneaux à l'engraissement, sur la qualité de la viande. Nous avons également comparé les PC au sainfoin (SF), une source connue de tanins condensés, et recherché les éventuelles interactions entre eux.

## 1. MATERIELS ET METHODES

Vingt-huit agneaux mâles (race Romane) ont été adaptés à une alimentation de base composée de foin et de granulés de concentré et luzerne. A 90 jours d'âge, les agneaux ont été répartis en 4 lots équilibrés (n=7) : un contrôle recevant les mêmes granulés de luzerne (645 g MS/j) ; un recevant des granulés à base de PC (905 g MS/j) ; un recevant des granulés à base de SF (645 g MS/j) ; et un recevant des granulés à base de PC et SF (PCSF ; 905 g MS/j). Les régimes étaient isoprotéiques et isoénergétiques. La teneur en tanins totaux des granulés était (en g/kg MS) : contrôle 1,4 ; PC 4,6 ; SF 8,0 ; PCSF 7,8. Les agneaux étaient nourris individuellement deux fois par jour et les refus pesés. Après 21 jours, les agneaux ont été abattus et la viande a été analysée. Le profil en acides gras a été évalué par CPG après transestérification basique (Natalello *et al*., 2022). Pour analyser la stabilité oxydative, 4 tranches de viande ont été découpées et conservées à 4°C dans des barquettes filmées pendant 0, 3, 6 et 9 jours, respectivement. A la fin de chacune de ces durées, les descripteurs de couleur (CIE L*a*b*) et d'oxydation des lipides (TBARS) ont été mesurés (Natalello *et al*., 2022). L'effet du régime sur le profil en acides gras a été évalué avec une ANOVA. Les données de couleur et TBARS ont été traitées avec une ANOVA en mesures répétées. Les différences ont été considérées comme significatives lorsque $P \leq 0{,}050$.

## 2. RESULTATS

### 2.1. ACIDES GRAS DE LA VIANDE

Les résultats des profils en acides gras de la viande sont présentés dans le tableau 1. La viande PC avait la teneur en C18 :1*trans*11 la plus élevée, et une teneur en C18:2*cis*9*trans*11 (CLA) plus élevée que les viandes des groupes SF et PCSF. L'indice d'activité de la stéaryl-CoA 9-désaturase, calculé sur la base du rapport entre C14:0 et C14:1*cis*9, n'était pas différent entre les groupes ($P$=0,414).

| Acides gras (g/100g total) | Groupe d'alimentation | | | | SEM | *P* value |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ctrl | PC | SF | PCSF | | |
| Lipides (%) | 1,58 | 1,68 | 1,66 | 1,56 | 0,075 | 0,937 |
| C14:0 | 2,29 | 2,49 | 3,09 | 2,99 | 0,172 | 0,251 |
| C16:0 | 20,3 | 20,2 | 21,0 | 21,4 | 0,238 | 0,176 |
| C16:1*cis*9 | 1,24 | 1,25 | 1,38 | 1,29 | 0,030 | 0,321 |
| C17:0 | 1,29 | 1,12 | 1,26 | 1,17 | 0,029 | 0,088 |
| C18:0 | 16,3 | 15,4 | 15,9 | 15,3 | 0,178 | 0,171 |
| C18:1*trans*10 | 1,03 | 1,05 | 0,82 | 0,85 | 0,129 | 0,885 |
| C18:1*trans*11 | 2,28$^{b}$ | 3,59$^{a}$ | 2,13$^{b}$ | 1,87$^{b}$ | 0,172 | 0,006 |
| C18:1*cis*9 | 31,0 | 30,5 | 30,9 | 30,5 | 0,364 | 0,930 |
| C18:2 *n*-6 | 6,72 | 7,27 | 6,76 | 7,06 | 0,233 | 0,833 |
| C18:3 *n*-3 | 1,95 | 1,70 | 1,98 | 2,04 | 0,073 | 0,381 |
| CLA | 0,60$^{ab}$ | 0,78$^{a}$ | 0,56$^{b}$ | 0,51$^{b}$ | 0,033 | 0,008 |
| C20:4 *n*-6 | 1,81 | 1,80 | 1,56 | 1,80 | 0,090 | 0,720 |

**Tableau 1 :** Profils en acides gras de la viande d'agneau

### 2.2. STABILITE OXYDATIVE DE LA VIANDE

Les résultats de la stabilité oxydative de la viande sont présentés dans le tableau 2. Nous n'avons observé aucune différence entre les groupes sur les TBARS et le changement de couleur (P>0,050). La luminance (L*), l'indice de rouge (a*) et de jaune (b*) ainsi que la valeur de TBARS de la viande ont évolué dans le temps, comme prévu.

## 3. DISCUSSION

L'inclusion de PC dans la ration a eu un effet positif sur le contenu de C18:1*trans*11 et CLA de la viande, des acides gras connus pour leurs effets bénéfiques sur la santé humaine (Field *et al*., 2009). Cet effet est probablement dû à la modulation de la biohydrogénation ruminale par les tanins présents dans les PC. Cette différence de profil en acide gras n'a pas affecté la stabilité oxydative des lipides de la viande pendant la conservation à 4°C. Contrairement à ce qu'ont observé Priolo *et al*. (2009), la présence d'un aliment contenant des tanins dans la ration des agneaux n'a pas amélioré la stabilité de la couleur de la viande.

## CONCLUSION

En conclusion, les peaux de châtaigne peuvent être intégrés dans l'alimentation des agneaux à l'engrais sans effet négatif sur la stabilité oxydative de la viande, tout en améliorant son profil en acides gras.

**Field C.J *et al.,* 2009.** Appl. Physiol. Nutr. Metab., 34(5), 979-991
**Natalello A. *et al*., 2022.** Meat Sci., 186, 108731
**Priolo A. *et al*., 2009.** Meat Sci., 81(1), 120-125
**Salami S.A. *et al*., 2019.** Anim. Feed Sci. Technol., 251, 37-55

| Paramètre | Groupe d'alimentation (G) | | | | Temps de conservation (T) | | | | SEM | *P* value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ctrl | PC | SF | PCSF | 0 | 3 | 6 | 9 | | G | T | G*T |
| Luminance, L* | 38,4 | 39,1 | 37,8 | 39,4 | 37,3$^{c}$ | 38,6$^{b}$ | 39,6$^{a}$ | 39,1$^{ab}$ | 0,245 | 0,155 | <0,001 | 0,283 |
| Indice de rouge, a* | 15,0 | 15,2 | 15,3 | 15,2 | 17,3$^{a}$ | 15,6$^{b}$ | 13,9$^{c}$ | 14,0$^{c}$ | 0,285 | 0,907 | <0,001 | 0,498 |
| Indice de jaune, b* | 16,6 | 16,4 | 16,2 | 16,7 | 13,6$^{c}$ | 17,2$^{b}$ | 16,9$^{b}$ | 18,2$^{a}$ | 0,206 | 0,389 | <0,001 | 0,970 |
| TBARS (mg MDA/kg) | 1,28 | 1,51 | 1,57 | 1,44 | 0,64$^{c}$ | 0,99$^{c}$ | 1,84$^{b}$ | 2,48$^{a}$ | 0,086 | 0,455 | <0,001 | 0,964 |

**Tableau 2** Variation de couleur et oxydation des lipides de la viande pendant 9 jours de conservation (MDA : malondialdéhyde).

# Influence du stade de la lactation sur la qualité du lait de bufflonne en France
## *Influence of the stage of lactation on the quality of buffalo milk in France.*

RECURT M. (1), LELEU S. (1), BONBON H. (1), DESONGINS A. (1), SERMAND R. (2), OSWALD M. (2), ALHAMADA M. (2)
(1) ISTOM, École Supérieure d'Agro-Développement International (ISTOM), F-49000 Angers, France.
(2) UR ADI-Suds, ISTOM, F-49000 Angers, France.

## INTRODUCTION

Le lait de bufflonne se caractérise par un taux élevé de matières grasses MG, qui est l'un des composants les plus importants du lait, et souvent le prix du lait dépend de la quantité de MG, cependant, les informations sur la composition du lait de bufflonne sont rares (Arote *et al*., 2021, Ménard *et al.*, 2010). En France, nous n'avons pas trouvé de données officielles sur l'élevage de bufflonne, mais un rapport de AFP en 2018 indique que l'élevage de bufflonnes ne concernait que 52 producteurs dont 8 élevaient exclusivement ces animaux. L'objectif de cette étude est d'étudier l'effet de la différence de composants physico-chimique du lait de bufflonne selon le stade de lactation dans le nord-ouest de la France

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. ANIMAUX ET ÉCHANTILLONAGES

12 bufflonnes (5.7 ± 0.7 an) ont été sélectionnées parmi 50 femelles d'un troupeau d'une exploitation des Côtes d'Armor (22). Les animaux ont été divisés en trois groupes selon le stade de lactation à la première date de prélèvement : G1 en début de lactation (G1 <90 j, n =3), G2 stade de mi-lactation (90-150 j, n=5), et G3 en fin de lactation (150-300j, n=4). Les bufflonnes ont été nourries avec du foin ad libitum et des concentrés (1 kg/j/tête) au moment de la traite (2*500g/j/tête). Des échantillons de lait ont été prélevés individuellement lors de la traite du soir, en 2 périodes, i.e. fin janvier et fin mars 2022.

### 1.2. ANALYSES DES COMPOSANTES DU LAIT

Après chaque prélèvement, des dosages des lipides, glucides et protéines ont été menées à l'ISTOM à Angers (49) La méthode de Rôse Gottlieb, la méthode de Bradford et la méthode de DNS ont été utilisées pour analyser respectivement les taux de lipides, les protéines et le lactose.

### 1.3. ANALYSES STATISTIQUES

Le test de Tukey avec le logiciel R a été utilisé pour comparer les résultats inter et intra date et groupe de prélèvement. Les résultats sont exprimés en %, MOY±EM, p<0.05.

## 2. RÉSULTATS

### 2.1. ANALYSES DU LIPIDE

On remarque une augmentation du taux de lipides avec la progression du stade de lactation. Les % de MG du lait de bufflonne à différents stades ont été : 7.08±0.10%, 10.35±0.14% et 11.38±0.07% pour respectivement G1, G2 et G3 pendant la première période (janvier), et 9.20±0.2%, 11.11±0.19%, et 11.45±0.05% pour respectivement G1, G2 et G3 au cours de la deuxième période (mars), (cf. Tableau 1).
Les résultats montrent aussi une grande variabilité du taux de lipides dans le lait d'un individu à l'autre.

### 2.2 ANALYSES DES PROTEINES

Nos résultats montrent que le % de protéines se situe entre 3.6-7.6% en janvier, et entre 3.4-8.5% en mars (cf. Tableau 1). Ces résultats montrent que la concentration en protéines augmente avec la progression du stade de lactation. En bref : le % moyen de protéines dans la première période est 3.89±0.3, 4.04±0.15, 5.04±0.32 pour G1, G2 et G3 respectivement. Tandis que, le % en mars est 4.14±0.66, 4.15±0.3 et 5.19±0.28 pour le G1, G2 et G3 respectivement.

### 2.3. ANALYSES DES GLUCIDES

Semblable aux résultats obtenus dans l'analyse des protéines et des lipides, les résultats montrent des différences significatives entre les individus sur la même période de prélèvement, les % de lactose se situe entre 2.7% et 7.1%. Les % de lactose est 6.2±0.32, 5.9±0.24, 4.3±0.03, et 5.2±0.06, 4.3±0.13, 3.9±0.05 pour G1, G2, G3 en première et deuxième période respectivement

## 3. DISCUSSION

Les taux de MG et protéines les plus élevés ont été enregistrés en fin de lactation, tandis que le % les plus faibles ont été enregistré en début de lactation, ceci est cohérent avec les résultats de (Arote *et al*., 2021, Ménard *et al.*, 2010), cependant, les valeurs de notre étude sont supérieures à ce que l'on retrouve dans ces études. Ces variations restent dans la fourchette supérieure de résultats présentes par (Abd el-salam et el-shibiny, 2011) i.e. 5,3 à 9,0 % pour les MG et 2.7-5.2% pour les protéines. Nos valeurs élevées peuvent s'expliquer par les compléments alimentaires apportés lors de la traite. Concernant les glucides, on observe une diminution avec l'avancement du stade de lactation, résultat confirmant les études présentées ci-dessus. Dans notre étude, le niveau initial de lactose est fort et a diminué de manière significative avec l'avancement du stade de lactation (p <0,05). La baisse de production caractéristique la fin de lactation expliquerait cette évolution.

## CONCLUSION

Nos résultats confirment que la progression du stade de lactation est associée à une augmentation en % de MG et de protéines et une baisse de % de lactose. Les taux de ces composants, qui ont été observés à des valeurs supérieurs que dans les études précédentes, peuvent s'expliquer par le niveau d'alimentation.

*Un grand merci à Mme Bertrand qui nous a accueilli et permis de prélever du lait de sur son cheptel, et à l'équipe de l'ISTOM qui a financé cette étude*

**Abd el-salam, M., El-shibiny, S., 2011**. Dairy Sci. & Technol., 91, 663–699
**AFP**, 2018. Le lait de bufflonnes, https://www.lepoint.fr/economie/le-lait-de-bufflonnes.php
**Arote, S.S, 2021**. Pharma Innov Journ., 2, 91-96
**Ménard, O., 2010**. Food Chemistry. 120, 544–551

| | Période 1, Janvier | | | Période 2, Mars | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Stade de la lactation<br>Effectif par groupe | G1 <90 j<br>3 | G2, 90-150 j<br>5 | G3, 150-300 j<br>4 | G1 <90 j<br>3 | G2, 90-150 j<br>5 | G3, 150-300 j<br>4 |
| Lipides | 7.08±0.10 a | 10.35±0.14 b | 11.38±0.07 c | 9.20±0.2 a | 11.11±0.19 b | 11.45±0.05 b |
| Protéines | 3.89±0.3 a | 4.04±0.15 a | 5.04±0.32 b | 4.14±0.66 a | 4.15±0.3 a | 5.19±0.28 b |
| Lactose | 6.2±0.32 a | 5.9±0.24 a | ±4.3±0.03 b | 5.2±0.6 a | 4.3±0.13b | 3.9±0.05 b |

**Tableau 1** : Analyse de lait de bufflonne aux différents stades de lactation (moy ± écart-type).
Les différents exposants (a, b,c) dans une ligne sur la même période montrent des écarts significatifs (p <0,05)

# Etude physicochimique et sensorielle des kéfirs camelins issus des différents systèmes d'élevages

## *Physicochemical and sensory study of camel kefirs from different farming systems*

ARROUM S. (1), SBOUI A. (1), FGUIRI I. (1), AYEB N. (1, 2), HAMMADI M. (1), KHORCHANI H (1)

(1) Laboratoire d'élevage et de faune sauvage, Institut des Régions Arides (IRA), Médenine, Tunisie
(2) Centre Régional des Recherches Agricoles (CRRA) Sidi Bouzid, Tunisie

## INTRODUCTION

Le kéfir est une boisson lactée fermentée, crémeuse au goût acide. Il est préparé à l'aide des grains de kéfir qui présentent un levain naturel: culture bactérienne utilisée pour sa fabrication. Il est demandé par les consommateurs dans le monde entier en raison de ses propriétés potentiellement bénéfiques pour la santé (Leite et al, 2015). Il est fabriqué à base des tous types du lait mais pas encore développé à base du lait camelin. C'est dans ce cadre qu'on a jugé utile d'étudier la qualité physicochimique et sensorielle des kéfirs camelins issus des différents systèmes d'élevages en Tunisie.

## 1. MATERIEL ET METHODES

**Lait camelin:** Les échantillons de lait camelin ont été collectés dans différents systèmes d'élevage (intensif, semi intensif et extensif) avec 10 échantillons par système
**Les grains du Kéfir:** Les grains du Kéfir ont été collectés auprès d'utilisateurs privés (5 échantillons).
Une étude physicochimique (pH, acidité, viscosité, extrait sec (MS en g/L), matière minérale (MM en g/L), matière grasse (MG en g/L) a été réalisée sur les 10 échantillons de lait camelin, sur le kéfir produit à partir de ces échantillons et sur les grains de kéfir. Pour la production de kéfir, l'inoculation du lait camelin par une dose de 2% de grains de kéfir (choux fleur) et une fermentation longue de 18 h à 25 °C (De Oliveira Leite et al, 2013) a été réalisée. Enfin une analyse sensorielle a été effectuée par 100 dégustateurs naïfs afin de révéler lequel de ces kéfirs est le plus apprécié. Une analyse statistique de la qualité sensorielle a été réalisée par le logiciel SPSS moyennant l'analyse de la variance ANOVA en utilisant le test Duncan ($P<0.05$).

## 2. RESULTATS

### 2.1. ETUDES PHYSICOCHIMIQUES DES LAITS, KEFIRS ET DU GRAIN DU KEFIR

Les résultats montrent que le lait camelin issu du système extensif est plus visqueux et riche en minéraux par rapport aux autres laits. Les grains du Kéfir sont de pH acide et de matière grasse négligeable. Le pH du kéfir camelin issu du système semi-intensif est le plus acide et le plus visqueux par rapport aux autres Kéfirs. La teneur en MG la plus élevée est pour le kéfir des chamelles élevées en système extensif.

Durant le processus de fermentation, le pH, l'extrait sec et la matière grasse matière grasse du Kéfir diminuent alors que l'acidité et la viscosité augmentent par rapport aux laits initiaux (Tableau1)

### 2.2. ANALYSE SENSORIELLE DES DIFFERENTS KEFIRS

| Kéfir | Salinité | viscosité | Acidité | Couleur |
|---|---|---|---|---|
| **A** (n=3) | 4,98 ± 2,3$^{b}$ | 3,45 ± 2,5 | 3,72 ± 2,4$^{b}$ | 2,67 ± 2,4$^{c}$ |
| **B** (n=3) | 6,38 ± 2,5$^{a}$ | 4,08 ± 2,4 | 6,64 ± 2,6$^{a}$ | 3,55 ± 2,3$^{b}$ |
| **C** (n=3) | 6,04 ± 3,3$^{ab}$ | 4,33 ± 2,6 | 4,9 ± 2,6$^{ab}$ | 3,78 ± 2,5$^{a}$ |

Tableau 2. Résultats des analyses sensorielles
*(A ; Kéfir camelin du système intensif, B ; Kéfir camelin du système semi- intensif, C ; Kéfir camelin du système extensif)*

Le kéfir camelin issu du système semi-intensif (B) est plus acide et le plus salé par rapport aux autres kéfirs.
Le kéfir camelin issu de mode d'élevage extensif (C) est le plus visqueux et se caractérise par la couleur la plus intense (Tableau 2). Un test de préférence a montré que le kéfir camelin élevé en mode intensif (A) est préféré par 60 % des dégustateurs.

## 3. DISCUSSION

Les laits et Kéfirs camelins issus du système semi-intensif sont plus acides que les autres laits et Kéfirs (Tableau 1). Cette différence pourrait être due à l'alimentation, au degré de richesse du lait en vitamines C (Haddadin et al, 2008). Cent dégustateurs naïfs ont privilégiés le Kéfir camelin issu du système intensif qui est le moins salé, moins acide et moins visqueux que ceux des autres systèmes.

## CONCLUSION

Le lait camelin issu des différents modes d'élevage a une aptitude à la transformation au kéfir apprécié aux consommateurs; un test de préférence a montré que ce produit lacté camelin élevé en mode intensif est le plus préférable pour 60% des dégustateurs.

**De Oliveira Leite A.M., Miguel M.A., Peixoto R.S., Rosado A.S., Silva J.T., Paschoalin V.M**., 2013. Braz. J. Microbiol. 44(2), 341-349
**Leite A.M., Miguel M.A., Peixoto R.S., Ruas-Madiedo P., Paschoalin V.M., Mayo B., Delgado S**., 2015. J Dairy Sci., 98(6), 3622-3632
**Haddadin, M., Gammoh, S., Robinson, R**., 2008.J Dairy Research, 75(1), 8-12. Doi: 10.1017/S0022029907002750

| | Système intensif | | Système semi-intensif | | Système extensif | | Grains du .Kéfir |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lait | Kéfir | Lait | Kéfir | Lait | Kéfir | |
| **pH** | 6,5 ± 0,07 | 4,71 ± 0,56 | 6,4 ± 0,01 | 4,32 ± 0,3 | 6,7 ± 0,1 | 5,56 ± 0,5 | 4,08 ± 0,5 |
| **Acidité (°D)** | 17,55 ± 0,6 | 76,25 ± 4,9 | 24,9 ± 0,8 | 80,62 ± 26,4 | 24,6 ± 9,7 | 69,7 ± 7,5 | 136 ± 0,4 |
| **Viscosité (Cp)** | 3,45 ± 0,07 | 54,57 ± 6,9 | 4,13 ± 0,6 | 58,4 ± 4,1 | 5,7 ± 2,5 | 53,3 ± 1,3 | - |
| **MG (g/L)** | 25,33 ± 3,3 | 20,11 ± 5,57 | 32,36 ± 8,2 | 23,76 ± 7,1 | 41 ± 7,11 | 25,3 ± 3,3 | 0,02 ± 0,2 |
| **MS (g/L)** | 100,16 ± 5,7 | 92,51 ± 11,8 | 114,4 ± 11,3 | 94,25 ± 8,4 | 124,23 ± 3 | 110,8 ± 3 | 122,9 ± 0,3 |
| **MM (g/L)** | 7,93 ± 1,15 | 7,49 ± 0,61 | 8,52 ± 1,08 | 8,7 ± 0,22 | 8,74 ± 1,2 | 7,9 ± 0,89 | 7,63 ± 0,2 |

**Tableau 1**. Résultats des analyses physico-chimiques sur les laits, kéfirs et grains de kéfir
*D : degré Dornic / Cp :Centipoise*

# Propriétés physico-chimiques du yaourt naturel à base du lait de chamelle
# *Physico-chemical properties of natural yogurt made from camel milk*

OMRANI A. (1)(2), SBOUI A. (1), HAMOUDA M. (1), DBARA M. (1), HAMMADI M. (1), KHORCHANI T. (1)

(1) Institut des Régions Arides, Laboratoire d'Elevage et de la Faune Sauvage, Médenine, Tunisie
(2) Institut Supérieur de Biotechnologie de Monastir, Monastir, Tunisie

## INTRODUCTION

Depuis longtemps, le lait de chamelle a été consommé par les peuples nomades que dans son état frais. En effet, la transformation de lait camelin en produits dérivés constitue une voie intéressante pour mieux exploiter le potentiel laitier des zones arides, prolonger naturellement sa conservation, et contribuer par conséquent à sa valorisation économique. La composition très riche en nutriments de base du lait de chamelle incite à le transformer en un aliment fonctionnel comme le yaourt naturel qui demeure le produit laitier fermenté le plus courant. L'objectif de ce travail vise la détermination des propriétés physicochimiques du yaourt naturel fabriqué à base du lait de chamelle et leur comparaison avec le lait camelin.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1 MATERIEL

Le lait de chamelle a été prélevé à partir des troupeaux élevés dans la station de Chenchou (Gabès, Tunisie).

### 1.2 METHODES

Un diagramme standard de fabrication du yaourt à partir du lait de chamelle a été suivi pour obtenir le produit fini. Tout d'abord, la pasteurisation du lait a été effectuée à 65 °C pendant 30 minutes. Après refroidissement du lait jusqu'à 45 °C, le fermant lactique a été ajouté. Ensuite le produit a été incubé à 42-45 °C pendant une nuit. Les yaourts naturels ont été conservés à 4 °C.

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre (Jenway) et l'acidité titrable est déterminée par titration de l'échantillon dilué (1/10) par une solution d'hydroxyde de sodium NaOH (0,1 N). La viscosité est mesurée à l'aide d'un viscosimètre (Brookfield). La teneur en matière sèche est calculée après étuvage de 1g de yaourt ou 10 mL du lait à 105 °C pendant 24h jusqu'à l'obtention d'une masse constante et la teneur en matière minérale est calculée après incinération de la matière sèche dans un four à 505 °C pendant 6h. La teneur en matière grasse est déterminée par la méthode acido-butyrométrique de Gerber et la teneur en protéines est mesurée par la méthode de Kjeldahl.

## 2. RESULTATS

Le tableau 1 montre qu'il existe une différence significative ($p<0,05$) entre la teneur en matière grasse du lait et du yaourt et une différence hautement significative ($p<0,0001$) avec tous les autres paramètres physico-chimiques, sauf pour la teneur en protéines, la différence est non significative ($p>0,05$).

| Paramètres physico-chimique | Yaourt naturel | Lait de chamelle |
|---|---|---|
| pH | 4,6±0,1[a] | 6,5±0,1[b] |
| Acidité (°D) | 94,4±1,2[a] | 17,7±0,3[b] |
| Viscosité (cP) | 101,1±3[a] | 3±0,2[b] |
| Matières sèche (%) | 14,4±1,3[a] | 10,2±0,3[b] |
| Matières minérale (%) | 1±0,1[a] | 0,7±0,1[b] |
| Matière grasse (%) | 4,6±0,7[a] | 3,8±3[b] |
| Protéines (%) | 3,2±0,2[a] | 3±0,2[a] |

**Tableau1 :** Paramètres physico-chimiques de lait de chamelle et de yaourt naturel

## 3. DISCUSSION

Les résultats des valeurs physico-chimiques du lait de chamelle obtenus dans la présente étude sont similaires à ceux rapportés par Sboui et al (2009). Des résultats similaires ont été obtenus par Walter et al. (2021), qui ont trouvé que le pH et l'acidité du yaourt naturel sont respectivement de 4,62±0,01 et 0,94±0,01 %. En outre, les teneurs en matière minérale, matière grasse et en protéines du yaourt naturel à base du lait de chamelle sont plus élevées que celles rapportées par Kermiche et al (2018) avec respectivement 0,37±0,03 %, 2,15±0,12 %, 2,57±0,00 %.

## CONCLUSION

La transformation de lait camelin en yaourt naturel ayant une valeur nutritionnelle importante constitue une voie intéressante pour diversifier la gamme de produits laitiers de lait de chamelle, prolonger naturellement sa conservation, et contribuer par conséquent à sa valorisation économique.

**Sboui, A., khorchani, T., Djegham, M., Belhadj, O. 2009**.Afrique,5.
**Kermiche, F., Boulekbache–Makhlouf, L., Félix, M., Harkat-Madouri, L., Remini, H., Madani, K., Romero, A. 2018**. Food Sci Technol Int, 7, 585-597.
**Walter, M., Brzozowski, B., Adamczak, M. 2021**. Animals, 11,2997.

# Valorisation du lait de chamelle en Tunisie par la transformation en leben et smen et caractérisation de ces produits

## *Valorization of Tunisian camel milk by transformation into leben and smen and characterization of these products*

FGUIRI I. (1), AYEB N. (1, 2), ARROUM S. (1), HAMMADI M. (1), DBARA M. (1), KHORCHANI T. (1)

(1) Laboratoire d'élevage et de faune sauvage Institut des Régions Arides (IRA Medenine). 4119. Médenine. Tunisie
(2) Centre Régional des Recherches Agricoles (CRRA) Sidi Bouzid, Tunisie.

## INTRODUCTION

Ces dernières années, les techniques de transformation du lait ont eu un développement considérable car les produits résultants ont pris de l'intérêt, d'une part, pour les consommateurs à cause de leurs qualités nutritionnelles et organoleptiques et d'autre part pour l'industrie pour la mise en œuvre des procédés de fabrication. On distingue une différence entre les produits laitiers fermentés d'un point de vue physico-chimique, origine du lait et voie de fermentation. En effet le comportement technologique du lait de dromadaire est très différent par rapport à celui du lait de chèvre et du lait de vache puisque sa transformation en produit lacté est difficile et nécessite des adaptations technologiques. Notre étude porte sur la préparation d'un lait fermenté de type Leben et Smen à base du lait de chamelle, chèvre et vache.

## 1. MATERIEL ET METHODES

Le lait de chamelle et le lait de chèvre ont été collectés dans le troupeau du laboratoire d'élevage et de faune sauvage, le lait de vache a été collecté dans un troupeau de la même région. Le Leben produit industriellement est fabriqué avec un lait pasteurisé à 82°C/30 minutes puis refroidi à 22°C et ensemencé de 0,2 % de ferments lactiques. Il est incubé à 45°C/24h jusqu'à sa coagulation. Après la fermentation, nous avons obtenu un gel : le Rayeb (lait fermenté caillé) qui doit ensuite être baratté pendant 30 à 40 minutes. On rajoute en fin un certain volume d'eau tiède (environ 10 % du volume de lait). En tournant, le Rayeb est séparé en une fraction aqueuse donnant le Leben et une fraction riche en graisse appelée beurre cru zebda beldi. Pour fabriquer le Smen, le beurre recueilli obtenu a été malaxée avec un mélange de sel et de fenugrec et bouilli dans un bac métallique à 100-120 °C pour évaporer l'eau. Le Smen (beurre clarifié) est alors filtré et conservé dans un récipient hermétique pour empêcher l'oxydation jusqu'à une analyse plus poussée. Par la suite des analyses physicochimiques et microbiologiques, ainsi qu'une analyse sensorielle (test de préférence) ont été réalisées.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Caractérisation physicochimique de Leben et Smen

| | Smen (chevre) | Leben(chevre) | Smen (vache | Leben (vache) | Smen (chamelle) | Leben (chamelle) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| FMAT (UFC/ml) | 1,32 $10^7$ | 1,54 $10^6$ | 1,08×1 $0^7$ | 1,57 $10^6$ | 1,25 $10^6$ | 1,45 $10^5$ |
| Col(UFC/ml) | 3 $10^2$ | 2 $10^2$ | 2×$10^2$ | 1,2 $10^2$ | 2 $10^2$ | 1,24 $10^2$ |
| LM(UFC/ml) | 1,32 $10^6$ | 1,78 $10^4$ | 1,15×1 $0^6$ | 1,56 $10^5$ | 1,02 $10^6$ | 1,26 $10^6$ |
| BL(UFC/ml) | 1,46 $10^6$ | 1,89 $10^6$ | 1,39×1 $0^7$ | 1,78 $10^7$ | 2,3 $10^7$ | 2,03 $10^7$ |

FMAT: Flores mesophiles totales,Col:coliformes ;LM:Levures et moisissures ; BL : Bactéries Lactiques

**Tableau 2.** Qualité microbiologique du Leben et Smen

Le pH de leben de vache est supérieur à celui de leben de chèvre et de chamelle (tableau 1). Ces valeurs sont supérieures aux résultats de Boubekri et *al*., (1984) qui a trouvé une valeur du pH égal à 4,25 pour le Leben de vache. Les indices acide et peroxyde sont plus élevés dans le Smen de chamelle par rapport à ceux de vache et de chèvre.

| | pH (leben | Acidité (leben) (°D) | MG (g/l)(leben) | MS (g/l) (leben) | Viscosité (cP) (leben) | IA (smen) | IP(smen) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chèvre | 4,49 | 80,1 | 4 | 91 | 120 | 11,5 | 0,8 |
| Chamelle | 4,49 | 76,5 | 17 | 110 | 56 | 12,5 | 0,9 |
| Vache | 4,64 | 62,01 | 33,32 | 70 | 64 | 5,7 | 0,5 |

MG : Matiére grasse MS :Matiére seche ;IA : indice acide du smen en mg de KOH/g d'huile ; IP : Indice peroxyde du smen en mEq $O_2$/kg

**Tableau 1.** Caractérisation physicochimique de Leben et Smen

### 2.2. Caractérisation microbiologique de Leben et Smen

L'analyse microbiologique montre que Leben et le Smen de chamelle ont une charge microbienne plus faible en termes de FMAT et de coliformes par contre ils sont plus chargés en bactéries lactiques (tableau2) et ceci peut être dû à la richesse du lait de chamelle en protéines antibactériennes (Jrad et *al.,* 2012).

## CONCLUSION

L'étude comparative entre les trois types de Leben et de Smen a montré une qualité organoleptique très appréciable une qualité nutritionnelle satisfaisante et une bonne qualité microbiologique.

**Boubekri. A, Tantaoui-Eleraki. C, Berrada, M.Benkerroum. N, 1984 :** Le Lait, 64 : 436-447.
**Jrad, Z., El Hatmi, H., Arroum, S., Isabelle, A., Nadia, O., Pascal, D., Khorchani, T. 2012.** Actes du Colloque : " the 3rd ISOCARD " 29-01- février, Muscat, Sultanat of Oman.