HAL
open science

Des indicateurs pour accompagner “ les éleveurs de microbes ”

Elise Demeulenaere, Mathilde Lagrola

To cite this version:

Elise Demeulenaere, Mathilde Lagrola. Des indicateurs pour accompagner “ les éleveurs de microbes ”. Revue d’Anthropologie des Connaissances, 2021, Un tournant microbien ?, 15 (3). hal-03343740

HAL Id: hal-03343740

https://hal.science/hal-03343740v1

Submitted on 14 Sep 2021

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

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

Revue d'anthropologie des connaissances

15-3 | 2021
Un tournant microbien ?

Des indicateurs pour accompagner « les éleveurs de microbes »

Une communauté épistémique face au problème des laits « paucimicrobiens » dans la production fromagère au lait cru (1995-2015)

Indicators to accompany "microbe breeders". An epistemic community facing the problem of "paucimicrobial" milk in raw milk cheese production (1995-2015)

Indicadores para acompañar a los «criadores de microbios». Una comunidad epistémica frente al problema de la leche «paucimicrobiana» en la producción de queso de leche cruda (1995-2015)

Élise Demeulenaere et Mathilde Lagrola

Édition électronique
URL : https://journals.openedition.org/rac/24953
ISSN : 1760-5393

Éditeur
Société d'Anthropologie des Connaissances

Ce document vous est offert par Campus Condorcet

Référence électronique
Élise Demeulenaere et Mathilde Lagrola, « Des indicateurs pour accompagner « les éleveurs de microbes » », *Revue d'anthropologie des connaissances* [En ligne], 15-3 | 2021, mis en ligne le 01 septembre 2021, consulté le 14 septembre 2021. URL : http://journals.openedition.org/rac/24953

Ce document a été généré automatiquement le 14 septembre 2021.

Les contenus de la *Revue d'anthropologie des connaissances* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Des indicateurs pour accompagner « les éleveurs de microbes »

Une communauté épistémique face au problème des laits « paucimicrobiens » dans la production fromagère au lait cru (1995-2015)

Indicators to accompany "microbe breeders". An epistemic community facing the problem of "paucimicrobial" milk in raw milk cheese production (1995-2015)
Indicadores para acompañar a los «criadores de microbios». Una comunidad epistémica frente al problema de la leche «paucimicrobiana» en la producción de queso de leche cruda (1995-2015)

Élise Demeulenaere et Mathilde Lagrola

« Certaines formes de savoir et de contrôle requièrent une réduction du champ de vision. Cela offre le grand avantage de mettre en évidence certains aspects précis d'une réalité par ailleurs bien plus complexe et difficile d'accès. Par le truchement de cette simplification, le phénomène placé au centre du champ de vision est rendu plus lisible et il est dès lors plus aisé de lui appliquer des mesures et des calculs précis » (Scott, 2021, p. 27).

1 En 2015, le Conseil national des Appellations d'origine laitières (CNAOL) – instance rassemblant l'ensemble des organismes gérant les Appellations d'Origine Protégées (AOP) laitières françaises – consacrait son assemblée générale aux contributions positives du lait cru dans les productions fromagères[1]. Lors de la rencontre, organisée en octobre à Rocamadour, les intervenants – une microbiologiste de l'unité Productions fromagères de l'INRA à Aurillac, et trois producteurs – déclinent, tout en insistant sur « leur préoccupation permanente de qualité sanitaire », les bienfaits du lait cru « tant sur le goût, la santé, la biodiversité que sur la préservation de spécificités culturelles »[2]. À cette occasion, il est mentionné une tendance jugée inquiétante : alors que le nombre

de germes/ml de lait cru en France était en moyenne de 200 000 dans les années 1970, il serait tombé à 5000 selon les chiffres de la profession[3]. Lors de la 3ème journée technique organisée quelques mois plus tard par la revue *Profession Fromager*, la thématique des « laits pauci-microbiens » – « avec peu de microbes » – est annoncée comme l'un des « nouveaux défis des fromages au lait cru »[4]. La chercheuse de l'INRA précédemment intervenue, Marie-Christine Montel, inaugure la première session « Préserver la biodiversité en amont ». Elle qualifie les laits crus de « laits vivants », et en appelle à « faire preuve de plus de discernement » pour « préserver les microorganismes utiles ». Son intervention est suivie par celle d'Antoine Bérodier qui présente et représente le programme de recherche-action « FlorAcQ » conçu pour « Accompagner les producteurs de lait engagés dans des filières sous signe de qualité et d'origine pour gérer la flore microbienne des laits crus » et aider les éleveurs à améliorer les « équilibres microbiens de leur lait ». Un producteur fermier de Camembert de Normandie est invité à raconter « comment [il a] réussi à revenir au lait des années cinquante », en s'engageant dans la recherche de « laits riches ». Sous l'intitulé « les stratégies collectives », la session suivante aborde les réponses mises en place par une poignée d'Appellations d'origine, à travers la constitution de « souchothèques », c'est-à-dire de collections de souches sélectionnées à partir d'échantillons prélevés localement. L'après-midi, une session vise à « Préserver la biodiversité en fabrication », à partir d'une série de pratiques relevant de traditions en partie réinventées permettant une meilleure expression des microflores natives du lait. Dans la foulée de l'assemblée générale de Rocamadour, un groupe de travail « Lait cru » est réuni au sein de la Commission scientifique et technique de l'Institut National des Appellations d'origine (INAO). Lors de la réunion de février 2018, le groupe de travail insiste sur l'enjeu du problème des laits pauci-microbiens – qui sont « une façon de supprimer le lait cru sans le dire » – et « à l'utilisation de ferments [exogènes] qui rapprochent progressivement les fromages à forte identité des fromages industriels ». « Avant d'être des éleveurs d'animaux, nous sommes des éleveurs de microbes », martèle le président du groupe de travail Patrice Chassard, par ailleurs producteur fermier et président de l'Union des producteurs de Saint-Nectaire fermier[5].

2 Si l'appauvrissement des flores natives du lait n'est pas constitué en « problème public », au sens où il n'a pas une grande visibilité dans les arènes publiques (Cefaï, 1996), il est en revanche devenu en quarante ans un point de préoccupation majeur tant pour les acteurs que pour les connaisseurs de la production fromagère au lait cru. L'objet de cet article est de décrire la manière dont la tendance à l'appauvrissement des laits émerge comme une situation problématique et comment des acteurs se mobilisent pour y remédier, à travers la production de nouvelles connaissances (notamment, de nouveaux indicateurs de la qualité microbienne des laits), mais aussi à travers de nouvelles façons d'organiser la production et l'appropriation de ces connaissances, en se rapprochant « du terrain ». Le sujet se prête à une approche inspirée du pragmatisme sociologique, car il rencontre le chemin d'acteurs confrontés à une situation inédite et pleine d'indétermination que leur enquête collective vise à résoudre (Dewey, 2006). Notre insertion sur ce terrain de recherche et la nature du corpus rassemblé nous a amenées à concentrer l'analyse sur la période 1995-2015, et sur un collectif de personnes bien identifié que nous qualifierons de « communauté épistémique » : l'expression conceptualise le fait que des communautés scientifiques partageant un paradigme développent une même vision du monde, qu'elles peuvent

être amenées à défendre par des activités d'expertise, des plaidoyers épistémiques, et toute autre forme d'action (Haas, 1992).

3 Cet article est rédigé dans un moment intellectuel où les microorganismes sont investis comme un objet d'intérêt pour les sciences humaines et sociales. Les auteurs pionniers de ce champ des ethnographies multiespèces posent, de plus, que la période actuelle serait caractérisée par une transformation du regard porté sur les microbes, de « péril » en « promesse » (Paxson & Helmreich, [2014] 2017). Ethnographe du renouveau des fromages artisanaux au lait cru aux États-Unis, où le lait pasteurisé est la norme, l'anthropologue Heather Paxson est une protagoniste majeure de ce « tournant microbien » (voir introduction au numéro). Dans « Post-pasteurian cultures », son article le plus cité, elle met en scène un affrontement entre les « pasteuriens » ennemis des microbes, et les « post-pasteuriens » incarnés par les fromagers artisanaux qu'elle étudie, promoteurs d'une alliance avec les microbes (Paxson, 2008). Il en résulte une vision opposant *contre* et *pour* les microbes, avec une sympathie pour la deuxième position[6]. Tout en reconnaissant l'apport de ces travaux, nous nous en démarquons par notre terrain et notre approche. D'une part nous travaillons dans un pays de culture fromagère dans lequel la fabrication au lait cru est une tradition ancienne et ininterrompue, qui représente actuellement 15 % des fromages commercialisés en France : il ne s'agit pas d'une alternative en marge d'un système dominant, mais d'un secteur du marché structuré, et dont on va voir qu'il est traversé par des tensions internes. D'autre part, nous revendiquons un principe méthodologique cher aux historiens et aux anthropologues, qui consiste à prêter attention aux termes utilisés par les acteurs de l'enquête, considérant que ces termes sont porteurs d'univers sémantiques singuliers que la recherche vise précisément à décrypter. Il faut noter à cet égard que les acteurs que nous étudions n'utilisent pas le terme *microbe*, sauf exceptionnellement, dans des arènes et des contextes dans lesquels ils cherchent à marquer les esprits[7]. Ils parlent – selon les époques et leur communauté d'appartenance – de *germes,* de *souches*, de *communautés microbiennes*, d'*écosystèmes microbiens…* Cette pluralité lexicale renvoie à différentes façons de saisir la vie microbienne – à différentes échelles, avec différentes instrumentations – chacune de ces onto-épistémologies[8] ne faisant pas ressortir les mêmes propriétés du vivant. Outillées par le regard des *science studies*, les sciences sociales peuvent aller un cran plus loin en s'intéressant aux dispositifs que mettent en place les acteurs pour « instaurer » dans le monde social telle ou telle ontologie microbienne : cette thématique, travaillée de longue date sur d'autres terrains agricoles (Demeulenaere, 2014), a surgi au fil de notre enquête à travers la question des indicateurs utilisés pour quantifier ou qualifier la vie microbienne des laits. Plus précisément, nous avons pu observer les efforts des acteurs soucieux du maintien de la microbiodiversité laitière pour construire un indicateur alternatif à celui qui prévaut dans la réglementation (le « nombre de germes/ml »), illustrant un point analysé par les sciences sociales : la dimension politique et performative des indicateurs (Bouleau & Deuffic, 2016) et l'importance des querelles métrologiques dans la définition des problèmes sanitaires et environnementaux (Chateauraynaud & Debaz, à paraître).

4 Le sujet conduit à se concentrer sur le secteur des fromages au lait cru, particulièrement investis par les Appellations d'origine[9]. La microflore native y est en effet préservée tout au long de la chaîne de fabrication, du lait au fromage : sa permanence dans le produit fini y est revendiquée comme étant un élément du lien au terroir. Du côté des chercheurs, les protagonistes sont issus des laboratoires spécialisés

dans la production fromagère et délibérément ancrés dans des territoires de tradition fromagère : pour l'INRA, le Centre d'Aurillac dans le Massif Central et le Centre de Poligny dans le Jura. Dans ce secteur où les activités de recherche, de développement, et de production sont fortement intégrées, les instituts techniques dédiés à la R&D en production fromagère, implantés régionalement, sont un autre espace important de la production de connaissances[10].

5 La première partie remet en contexte historique la fabrique des métriques de la microbiologie du lait qui prévalent dans la réglementation actuelle (notamment le « nombre de germes/ml »), et leur performativité dans les choix des agriculteurs contemporains. Nous examinons ensuite comment ont émergé, dans les années 1990, les recherches liées à l'appauvrissement microbien des laits crus, et la bifurcation créée par les chercheurs travaillant au plus près des appellations d'origine. Celle-ci se structure autour d'un groupe de travail au départ informel, diversement connu sous le nom de « Flore des laits », « Interflore », ou « Écosystèmes microbiens »[11]. Nous nous attardons ensuite sur « FlorAcQ », la démarche d'accompagnement des producteurs laitiers qui en découle, et sur la façon dont elle tente de modifier en pratique, à travers la mobilisation d'indicateurs microbiens alternatifs, l'appréhension des microorganismes dans les fermes.

Remettre en histoire les indicateurs microbiens réglementaires

Le nombre de germes/ml : origine et performativité d'une métrique instaurée dans un contexte d'industrialisation de la production laitière

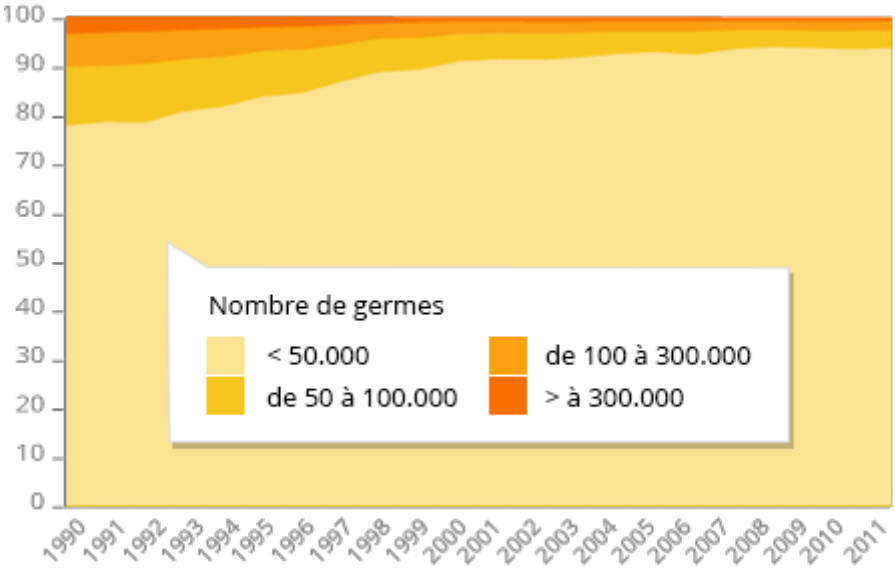
6 La production fromagère en France a connu durant le siècle dernier de profondes transformations, dont l'histoire a été retracée par la géographe ruraliste Claire Delfosse (Delfosse, 2007). Quelques jalons sont rappelés de façon récurrente par les connaisseurs de la filière, qu'ils soient scientifiques, techniciens fromagers, ou producteurs[12]. Il faut citer l'électrification des fermes dans les années 1950, qui s'est accompagnée de la généralisation des machines à traire, et des tanks réfrigérés à partir de 1970. La machine à traire, qui a permis le passage d'une traite à la main à une traite mécanisée, participait explicitement de l'amélioration des conditions de travail des éleveurs. La traite étant une étape critique de contamination du lait par les bactéries pathogènes, la machine à traire et son lactoduc qui fait circuler le lait directement de la mamelle vers le tank, en minimisant les échanges avec l'environnement extérieur, étaient en outre perçus comme un progrès en termes d'hygiène[13]. Par ailleurs, la concentration des unités de production fromagère et l'abandon de la livraison biquotidienne jugée trop astreignante ont imposé le transport du lait sur de plus grandes distances et un allongement du délai entre la traite et la fabrication : durant cette étape, la conservation du lait au froid (et non à température ambiante) était explicitement promue par les microbiologistes de l'INRA pour conserver un lait cru « de bonne qualité bactériologique »[14]. Le ralentissement du développement des microorganismes par le froid était en effet considéré comme un levier efficace pour lutter contre les proliférations pathogènes. Parallèlement, les méthodes d'estimation de la qualité bactériologique en laboratoire évoluent au fil des recherches, de la coagulation par

l'alcool proposée dans les années 1950, à la réduction par le bleu de méthylène, à une méthode de dénombrement des bactéries qui devient progressivement accessible à grande échelle (Richard & Daufin, 1973). C'est ainsi que la mesure du nombre global de microorganismes par unité de volume de lait s'impose progressivement comme un indicateur de la « propreté » du lait. Elle s'exprime classiquement en nombre de « germes/ml », ou bien, de manière équivalente, en « UFC/ml » pour Unité Formant Colonie, expression qui a le mérite d'expliciter la méthode utilisée pour opérer le décompte, en l'occurrence la mise en culture des bactéries sur boîtes de Pétri après multiples dilutions du lait, ou encore en « FMAR/ml » pour Flore Mésophile Aérobie Revivifiable, qui précise le type de microorganismes qu'elle permet de dénombrer.

7 En 1969, la loi Godefroy institue le « paiement du lait à la qualité »[15] ; ses décrets d'application introduisent, entre autres critères impactant le prix du lait, le nombre de germes/ml[16]. Ce nouveau cadre réglementaire s'appuie sur deux décennies de travaux menés dans le centre de l'INRA à Jouy-en-Josas ; il est conçu comme le « "moteur" principal de l'amélioration de la qualité [des laits] », les laits de bonne qualité étant explicitement définis par les microbiologistes comme ceux « dont la flore bactérienne [est] aussi réduite que possible » (Richard & Daufin, 1973, cités par Cornu *et al.*, 2018, p. 176). Ces représentations prévalent encore de nos jours : les teneurs en « germes totaux » sont présentées par l'interprofession laitière comme des « indicateurs de la propreté des élevages et de la santé des vaches »[17].

8 Si l'intention était de promouvoir plus d'hygiène dans les fermes, cette réglementation, renforcée par la transposition en droit français de la directive européenne de 1992 interdisant la collecte des laits dépassant le seuil de 100 000 germes/ml[18], a contribué à instituer la charge totale en microorganismes comme un indicateur négatif de la qualité sanitaire du lait, sans discrimination aucune entre la flore utile et la flore pathogène. L'expression « germes totaux », qui utilise de surcroît un terme associé à la maladie, est à cet égard significative. Selon un graphe présenté par l'interprofession laitière sur son site, en 2011, plus de 90 % des exploitations produisent un lait avec un taux de germes totaux inférieur à 50 000 unité/ml, contre environ 78 % en 1990 – ce qui est commenté comme un progrès vers « l'excellence sanitaire » (fig. 1). De nos jours, le paiement du lait à la qualité et son indicateur de germes totaux ont un rôle incitatif fort pour les éleveurs[19]. Sans compter que certaines coopératives laitières adoptent des seuils encore plus contraignants, telle Sodiaal qui applique depuis 2019 des pénalités à partir de 50 000 germes/ml[20].

Figure 1 : Graphe présenté sur le site de l'interprofession laitière, le CNIEL



Graphe intitulé et légendé : « Un process qualité qui produit des résultats. Au fil des ans, la composition du lait s'améliore. (…) Le niveau de germes a sensiblement diminué depuis les années 70 et témoigne aujourd'hui d'une excellente qualité sanitaire ».

Source : http://www.filiere-laitiere.fr/fr/filiere-laitiere/qualite-au-coeur-filiere-laitiere [consulté le 4 mars 2018]

9 Les producteurs de lait, qu'il soit ensuite pasteurisé ou bien utilisé cru pour la transformation fromagère, ont été (et sont encore) soumis aux mêmes incitations à la réduction de la charge microbienne totale. Les motivations sont au départ hygiéniques. Elles se doublent de motivations techniques et économiques. En effet, si la pasteurisation éradique la quasi-totalité des microorganismes présents dans le lait avant transformation, le processus de pasteurisation requiert un barème Temps x Température d'autant plus réduit que la charge microbienne des laits utilisés est faible au départ. Dans les termes d'un de nos interlocuteurs, « plus les laits sont contaminés, plus il faut les matraquer ; ça dénature les protéines, la nutrition s'abîme », c'est pour cela que les transformateurs passant par la pasteurisation préfèrent des laits très pauvres en germes.

Crises sanitaires, menaces sur le lait cru et focalisation sur les « pathogènes »

10 Après l'hygiénisation de la collecte du lait et l'industrialisation de la transformation laitière et fromagère des années 1960, les années 1980 à 1990 voient émerger une préoccupation plus ciblée sur la sécurité sanitaire de l'alimentation. De nouveaux indicateurs liés aux microorganismes classés pathogènes surgissent dans la réglementation. Quand bien même leurs effets se font déjà ressentir sur la qualité des laits (voir plus loin), le contexte est peu favorable à une remise en question des pratiques hygiénistes.

11 La deuxième moitié des années 1980 est en effet marquée par la préparation d'un « code d'usages en matière d'hygiène pour les fromages non maturés/non affinés et les fromages affinés à pâte molles » au *Codex alimentarius*[21]. Les négociations sont bloquées

du fait d'un refus catégorique, par les représentants français, de l'interdiction des fromages au lait cru sur les marchés internationaux[22]. La période n'est pas favorable : c'est en effet à ce moment qu'éclate la crise de la listeria (*Listeria monocytogenes*), bactérie à l'origine de la listériose, dont on découvre en 1987 qu'elle se transmet par contamination alimentaire, et qui cause une trentaine de décès chez des consommateurs de vacherin suisse (Leseur, 1998). À la suite d'une action diplomatique intense menée par la France, l'Italie et la Suisse, un compromis émerge finalement au Codex, selon lequel les fromages au lait cru restent autorisés dans les échanges internationaux à condition qu'ils assurent la même sécurité sanitaire que les fromages au lait pasteurisé. C'est à la même période qu'est préparée la directive européenne 92/46 « arrêtant les règles sanitaires pour la production et la mise sur le marché de lait cru, de lait traité thermiquement et de produits à base de lait »[23]. Mu par une logique d'harmonisation de la qualité sanitaire des produits laitiers amenés à circuler sur le marché européen, ce texte prévoit une série de mesures encadrant non seulement les pratiques de traite, de collecte, de transport, de fabrication, mais aussi, l'aménagement des ateliers de production, et également les seuils pour les microorganismes considérés comme pathogènes[24].

12 Les années 1990 sont donc accaparées tant par des luttes politiques pour défendre les fromages au lait cru dans les échanges internationaux, que par des efforts considérables pour mettre les ateliers aux nouvelles normes européennes. Les préoccupations sanitaires dominent alors – il s'agit en effet de montrer que la qualité sanitaire des fromages au lait cru est irréprochable au regard des fromages au lait pasteurisé. C'est à cette période que sont développées dans de nombreuses filières en France des démarches HACCP[25], des guides et audits d'hygiène. Les différentes filières fromagères sous appellation de qualité s'adaptent diversement à l'entrée en vigueur de ces nouvelles normes. Alors qu'en Auvergne, les fabricants de Cantal se divisent entre pasteurisation et maintien du lait cru, les montagnes de l'Est s'engagent plus activement dans la mise en conformité de leurs ateliers de fabrication au lait cru, favorisées par la part importante des fromages à pâte pressée cuite (Comté, Beaufort) moins sensibles aux risques pathogènes, la bonne valorisation du prix du lait, et l'implication des structures d'accompagnement (Ricard, 1998).

De l'inquiétude sur les laits paucimicrobiens à l'attention aux flores des laits

Les « laits paucimicrobiens », un problème d'abord technologique pour les industriels

13 En conséquence de ces mesures sanitaires, au cours de la deuxième partie du XXe siècle, les laits deviennent de plus en plus « propres » – l'adjectif est alors consacré pour qualifier des laits avec une teneur en germes totaux moins élevée. Les fromagers et techniciens expérimentés témoignent de façon récurrente de l'apparition, durant le temps de leur carrière, de difficultés dans le processus de fermentation spontanée imputées à l'appauvrissement des microflores des laits. Un trouble sur l'évolution de la qualité bactériologique des laits surgit du côté des transformateurs en prise au quotidien avec cette matière vivante, et en appelle à la production de faits, pour passer du doute à l'évidence partagée (Chateauraynaud, 2004). Cependant, la période

d'apparition de cette situation problématique reste difficile à documenter. D'abord parce que la transformation a été graduelle – il a fallu du temps pour que des signaux faibles se transforment en un faisceau d'indices ; ensuite parce qu'elle était inédite et que la compréhension du phénomène a été postérieure à son apparition ; enfin parce que la mémoire du passé ne s'embarrasse pas toujours de repères temporels. Une plongée dans les archives témoigne d'une préoccupation remontant au moins aux années 1970, tout en révélant le faible degré de connaissance de la question à l'époque[26]. Si l'on sait déjà que se tiennent à l'époque des campagnes de collecte de ressources microbiennes dans les territoires, l'analyse de cette période mérite une recherche à part entière (voir Tancoigne, ce numéro). Nous avons concentré notre enquête sur une période qui part du milieu des années 1990.

14 À cette époque, l'interprofession laitière travaille à mettre les « laits paucimicrobiens » à l'agenda des recherches en technologie fromagère. À la suite de l'instauration des quotas laitiers en 1984 et dans un contexte d'émergence d'une agriculture de qualité, les industriels laitiers investissent de plus en plus la production fromagère au lait cru (Delfosse, 2007, p. 132). Ils rencontrent cependant des difficultés dans la transformation, les laits pauvres en germes apparaissant de moins en moins « fromageables », par manque de bactéries lactiques natives pour assurer l'acidification préalable au caillage[27] : concrètement, le temps de coagulation augmente, et les caillés sont fragiles au tranchage. Dans certaines régions, pour certaines productions fromagères, le Reblochon par exemple, les producteurs ont commencé à y remédier depuis les années 1980 en recourant à des yaourts pour ensemencer les laits, ce qui n'est pas sans conséquence sur le goût du fromage. Ailleurs, le recours à des ferments exogènes se développe : il s'agit, par défaut, de souches développées par les industriels du ferment, ou parfois, de souches sélectionnées localement par les instituts techniques au service des appellations d'origine[28]. Mais là où cette pratique ne s'est pas encore imposée, les difficultés de fabrication se multiplient.

15 Un premier projet « Caractérisation de la flore et aptitude fromagère des laits ultra-propres » est conduit par l'Institut de l'élevage, en collaboration avec l'ITG représenté par Jean-François Chamba, et le laboratoire Sciences animales de l'ENSAIA de Nancy, à partir de laits collectés à partir de laits collectés chez 105 producteurs des régions Rhône-Alpes, Bourgogne et Auvergne. Son argumentaire explique que « *le critère 'germes totaux' [n'étant] qu'un indicateur quantitatif de la contamination, d'autant moins corrélé aux différentes flores présentes dans le lait que son niveau est bas (ITG, 1987)* », il est justifié de réactualiser les recherches menées 15 ans auparavant sur des laits « de qualité moyenne (50 000 à 100 000 germes totaux/ml) ». À la date de rédaction du projet en effet, 80 % des laits collectés ont une charge microbienne inférieure à 50 000 germes totaux/ml. Outre la caractérisation de la composition microbiologique de « ces laits dits ultra-propres ou paucimicrobiens »[29], l'enjeu est également d'évaluer leur aptitude technologique. Les hypothèses de recherche sont explicites dès la rédaction du projet :

> [considérant les contraintes et les coûts pour les producteurs], on peut se demander s'il est justifié de viser des seuils inférieurs à 50000 GT/ ml. (...) À ce niveau de qualité, le critère 'germes totaux' n'est vraisemblablement pas pertinent et il semble plus intéressant de rechercher une amélioration qualitative plutôt que quantitative de la flore microbienne. Les travaux envisagés ici ont pour objectif de fournir des arguments pour aller dans ce sens.

16 Les conclusions confortent les résultats pressentis :

> le critère « germes totaux » est très peu corrélé aux flores microbiennes étudiées présentes dans les laits faiblement contaminés.

17 D'autres éléments ne sont pas concluants :

> dans ces laits, les teneurs en flores spécifiques restent assez variables ; cette variabilité est difficile à relier aux critères usuels d'évaluation des pratiques hygiéniques dans les élevages.

18 En revanche, un résultat apparaît rassurant pour les industriels confrontés à des difficultés de fabrication :

> après ensemencement par des ferments classiquement utilisés en industrie laitière, on n'observe pas de différences d'aptitudes à la coagulation et à l'acidification entre des laits faiblement (< 20 000 gt/ml) ou moyennement contaminés (50 000 à 100 000 gt/ml) (Sommellier *et al.*, 1997).

19 Le projet « Laits paucimicrobiens » (1996-1998) étend ce premier travail à l'échelle nationale. Il est porté par Arilait Recherches, une structure « sans laboratoire » mise en place par les industriels laitiers pour développer la R&D sur des sujets identifiés comme prioritaires ou stratégiques, et implique dans sa mise en œuvre l'ADRIA, institut technique agro-industriel créé en 1971, spécialisé en qualité et sécurité des aliments, et à nouveau l'Institut Technique du Gruyère (ITG). Pour faire contraster les situations, des échantillons sont collectés dans deux grandes régions de production, l'Est (où se trouve les massifs alpins et jurassiens, et en majorité des productions sous appellation d'origine) et l'Ouest (où se trouvent des systèmes de production laitière misant plus sur une qualité standard de type industrielle). Le projet cherche à établir des liens entre faible charge microbienne, importance relative d'une flore psychrotrophe[30] réputée indésirable, et difficultés de fabrication. Il s'avère que les « laits paucimicrobiens » (définis dans le projet comme < 50 000 germes/ml) et « paucimicrobiens stricts » (< 20 000 ml) ont des compositions très variées si l'on va dans le détail des classes de flores faisant sens pour le technologue (flores génériques, flores d'intérêt technologique, flore d'altération, flores pathogènes)... En outre, le protocole prévoit de tester la vitesse de coagulation suivant plusieurs modalités – lait cru sans ajout, lait cru avec ensemencement, lait pasteurisé avec ensemencement – ; or, si l'on ajoute des ferments exogènes, les laits paucimicrobiens se révèlent aptes à la transformation. En définitive, le projet « *n'apporte pas aux industriels laitiers la réponse attendue sur la ou les causes de leurs difficultés de transformation de certains laits d'aujourd'hui* » (Arilait Recherches, 2000). Parmi les résultats indirects cependant, les protagonistes interrogés et les archives se félicitent de la mise en place au tournant des années 1990-2000 d'un réseau national de collections de souches microbiennes « d'intérêt laitier », dénommé Résomil (devenu FranceMil). Jean-François Chamba, technicien à l'ITG et figure pionnière dans la constitution de la souchothèque savoyarde, en prend la direction. Placé sous la tutelle du Bureau des Ressources Génétiques, ce réseau sera le principal instrument de la mise en œuvre d'une stratégie nationale de conservation *ex situ* de la biodiversité microbienne (Chamba, 2005), laquelle ciblera une ressource microbienne laitière tant technologique que territoriale. Arilait Recherches continuera de financer des recherches sur les protocoles de conservation par congélation des souches d'intérêt laitier, solution technique idoine pour répondre aux problèmes des industriels confrontés à l'érosion de la flore native des laits utilisés en fromagerie (Guyonnet, 2008).

20 Pour les industriels dans les années 1990, les laits « ultra-propres » se posent donc d'abord et avant tout comme un problème technologique de « fromageabilité », auquel

le développement de souches sélectionnées (qui suppose la mise en place de collection de ressources génétiques en amont) répond plutôt bien[31]. Il faut dire que les exigences de la grande distribution pour des produits de qualité régulière font que les industriels laitiers se satisfont plutôt bien d'une standardisation des agents microbiens de la fermentation. Une fois la solution technique identifiée, la métrique des germes totaux n'est plus discutée, pas plus que le problème de l'érosion des flores natives du lait. Comme nous allons le voir, cette piste n'est pas celle privilégiée par les chercheurs travaillant en collaboration avec les Appellations d'origine, loin s'en faut.

Dans le creuset des appellations d'origine, une attention renouvelée aux « flores des lait »

21 Une partie des recherches menées au service des Appellations d'origine alpines, rassemblées au sein de l'AFTAlp[32], est développée dans le cadre du Groupement d'intérêt scientifique (GIS) Alpes du Nord[33]. C'est à la fin des années 1990 que les chercheurs rassemblés sous cette bannière énoncent leur préoccupation pour la « microflore (native) du lait », définie « comme l'ensemble des microorganismes qui ne sont pas apportés volontairement par le fromager ». Le projet de recherche s'organise autour de l'étude de l'effet des pratiques d'élevage sur la flore des laits. Son argumentaire s'appuie sur les résultats du programme de l'Institut de l'Élevage, affirmant que « la contamination totale n'est pas un traceur de la contamination de ces laits par différents groupes microbiens habituellement étudiés ». Le document préparatoire énonce :

> Dans une perspective à long terme de gérer les pratiques au niveau des exploitations en fonction de leur effet sur la composition du lait et secondairement sur les caractéristiques des fromages, nous nous proposons de décrire la variabilité de la composition de la flore microbienne des laits actuels en fonction de 'systèmes de pratiques' préalablement identifiés et tendant soit à se généraliser soit au contraire à disparaître »[34].

22 Le document stipule :

> Si cette approche peut paraître hasardeuse du point de vue scientifique (peu d'informations sur la flore réellement utile dans le lait) ou contraire à la politique de la qualité nationale (recherche des laits les plus propres et réensemencement en cours de fabrication, la flore originelle étant révélatrice d'un manque d'hygiène), elle paraît néanmoins essentielle pour les responsables professionnels des fromages alpins. Effectivement, il s'agit d'investir sur la voie microbienne du lien au terroir, d'autant plus rapidement que l'on assiste à une forte modification des pratiques d'exploitation sous la contrainte des normes.

23 Le projet déposé pour demande de financement à ONILAIT (financement du Ministère de l'Agriculture, devenu FranceAgriMer) donnera lieu à un retour suspicieux de la part de la DGAL au Ministère de l'Agriculture, demandant : « avez-vous l'intention de remettre en cause la Loi Godefroy ? ». Le groupe devra se défendre d'une position anti-hygiéniste et mettra en avant son souci de développer des pratiques d'« hygiène raisonnée »[35]. Cette dynamique de recherche autour des flores des laits donnera lieu à la création d'un groupe pérenne de travail sur le thème, supposé circonscrit au territoire Alpes du Nord mais exceptionnellement ouvert à des représentants du Pôle Fromager Massif Central concerné par les mêmes problématiques.

24 Un autre volet de cette histoire se déroule en parallèle dans le Jura, sur le territoire de fabrication du Comté. Dans les années 1990, les voix dissonantes, qui veulent faire

entendre que les AOP fromagères sont des éléments du patrimoine français dont la typicité risque de s'éroder par trop d'hygiène, sont mises en sourdine devant l'impératif de prouver l'excellence sanitaire des fromages au lait cru. Le directeur du Comité Interprofessionnel de Gestion du Comté (CIGC), Jean-Jacques Bret, est l'une d'entre elles. Comme il le relate, la filière Comté s'est lancée dans les années 1990 dans un effort considérable pour améliorer la qualité du fromage et « fidéliser les consommateurs hors Franche-Comté »[36]. Historiquement organisée en coopératives[37], la filière avait créé dès 1978 un service technique indépendant, le Centre Technique du Comté (CTC)[38], dont la mission était de travailler auprès des éleveurs et fromagers pour résoudre les défauts récurrents de fabrication du fromage. Une fois un niveau minimum de qualité obtenu, la filière a voulu aller plus loin dans la construction collective d'un fromage haut de gamme, ce qui pour une AOC passait par la défense de la typicité[39]. Bret relate un épisode majeur dans cette stratégie, en l'occurrence l'interdiction dans le cahier des charges de l'appellation, de l'ensemencement direct du lait par des ferments commerciaux, une pratique que les producteurs de ferments promeuvent alors de façon agressive. Au risque d'être *« perçu contre la modernisation »*[40], la filière et son directeur montent alors au créneau pour défendre la pratique traditionnelle de fabrication du Comté qui s'appuie sur la préparation de levains à partir du lactosérum de la transformation précédente. Cependant « *comme on ne voulait pas se contenter d'interdire mais qu'on voulait aussi offrir des solutions sécures pour nos producteurs* », la filière encourage d'une part la sélection par le CTC de souches dites « autochtones » à partir d'échantillons prélevés dans des fromageries comtoises, d'autre part, elle embauche une chercheuse mise à disposition de l'INRA Poligny[41]. La poursuite de recherches était d'autant plus nécessaire que, comme le concède Antoine Bérodier, le directeur du CTC à l'époque,

> en termes de goût, avec les souches autochtones, on ne faisait guère mieux que les ferments industriels. On s'est dit que ce n'était pas suffisant, qu'il fallait travailler sur les microflores des laits.

25 Plutôt que d'ajouter aux laits des ferments, même prélevés localement, l'objectif devient alors de favoriser les flores déjà présentes dans le lait. Deux résultats majeurs obtenus à l'INRA Poligny viennent conforter les orientations politiques de la filière Comté. Tout d'abord, les chercheurs démontrent scientifiquement à partir du modèle Comté le rôle de la « flore indigène du lait » sur les caractéristiques, notamment organoleptiques du fromage (Bouton & Grappin, 1995)[42]. Plus tard, les chercheurs de Poligny démontrent que la flore naturelle du lait cru, bien que très minoritaire au moment de l'ensemencement, devient majoritaire au fur et à mesure de l'affinage, tandis que les ferments ajoutés décroissent rapidement (Bouton *et al.*, 1998).

26 À la fin des années 1990, fort de ces résultats, et soucieux d'aller plus loin dans le maintien de la typicité des fromages sous appellations d'origine, Jean-Jacques Bret suggère la création d'un groupe de travail autour des « flores des laits ». Il en confie l'animation à Pierre Parguel, chargé du secteur AOC à l'Institut de l'Élevage et dont le poste est basé à Besançon (Franche-Comté), épaulé par Antoine Bérodier. Les deux hommes ont en commun d'être techniciens fromagers de formation, et de travailler étroitement avec les appellations d'origine fromagères.

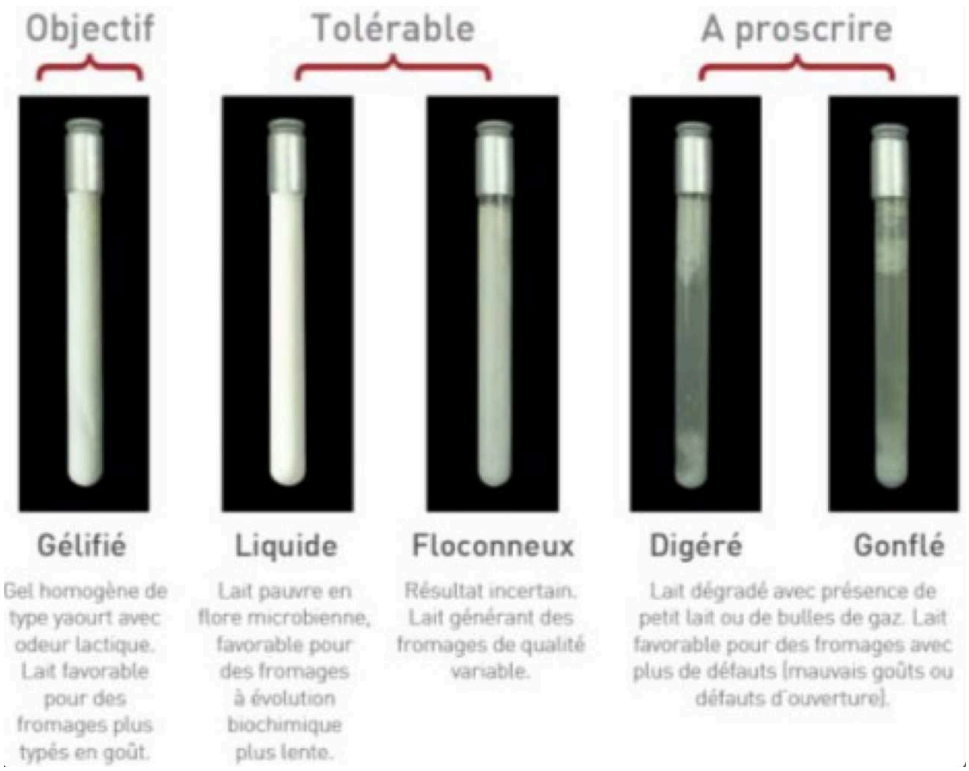
27 La dynamique prend forme lors de la première réunion AOC organisée en 2000 à Pontarlier par Pierre Parguel, en marge de la table ronde « Lactofermentation ». Antoine Bérodier se rappelle l'intérêt que suscitait alors ce thème, plus précisément, le test dit de « lactofermentation ». Ce test très couramment pratiqué dans la région

comtoise jusqu'aux années 1960-1970 consistait pour le fromager à laisser incuber un échantillon du lait livré le soir par chaque producteur à température ambiante durant une nuit, et observer le lendemain matin l'aspect du coagulum (en d'autres termes, du caillé) : selon qu'il était gélifié, digéré, liquide, ou encore qu'il présentait des dégagements gazeux, on pouvait anticiper le comportement du lait durant la fabrication, et éventuellement repérer un défaut (fig. 2). Certains techniciens fromagers avaient continué à utiliser ce test simple pour évaluer l'aptitude du lait à la transformation fromagère, et ce, bien qu'il soit disqualifié par les figures éminentes de la microbiologie pour son manque de scientificité (Germain Mocquot, acteur majeur des recherches fromagères à l'INRA dans les années 1960, en aurait parlé comme d'un « test de derrière les fagots »)[43]. Bérodier témoigne que dans les années 1980, la plupart des laits gélifiaient. À partir de la période 1995-2000, en revanche, « *on a vu un accroissement des lactofermentations qui restaient liquides, [de l'ordre de] 30-40 %* ». Conscient de cette évolution historique, Pierre Parguel réunit ce panel, avec l'idée de réhabiliter le test de lactofermentation, non seulement comme outil d'évaluation de la qualité d'un lait pour le fromage[44], mais également comme indicateur de réponse aux changements des pratiques des éleveurs[45]. Car, ainsi que l'énonce Antoine Bérodier,

> après [avoir dit aux éleveurs] pendant des décennies, « il [ne] faut plus de germes dans ton lait », il fallait arriver à un discours « on va vous aider à devenir des éleveurs de bactéries, et cultiver les bonnes bactéries ».

28 Or les techniciens d'élevage sont démunis face à ce virage, ne savent pas comment conseiller les éleveurs. Il faut alors établir des liens de cause à effet entre pratiques d'élevage et qualité bactérienne du lait.

Figure 2 : Photos représentant les différents résultats de lactofermentations réalisées dans des tubes à essai



Source : extrait d'une présentation de Patrice Dieudonné (ENIL La Roche-sur-Foron), aux 8èmes journées techniques de la revue *Profession fromager* (décembre 2019).

Une communauté épistémique autour des écosystèmes microbiens

Naissance d'un groupe informel « Flore des laits »

29 Un groupe de travail sur les flores du lait cru est donc monté, dont la coordination est confiée à Pierre Parguel et Antoine Bérodier. Au noyau initial se joint rapidement Valérie Michel, microbiologiste qui travaille alors dans le cadre du GIS Alpes du Nord, et dont les intérêts de recherche, comme nous l'avons vu, convergent. Le groupe s'ouvre à d'autres régions à travers la participation d'abord du Pôle fromager AOC Massif Central[46] , il est dès lors rebaptisé « groupe Intermassifs »[47]. Des chercheuses de l'INRA rejoignent la dynamique, dont Marie-Christine Montel, qui arrive au Centre d'Aurillac en 2000 pour en prendre la direction. Si elle est nouvelle alors dans le monde du fromage, son travail sur la microbiologie du saucisson au sein du Département « Transformation des produits animaux » lui a déjà permis de développer un regard en écologie microbienne, du fait de ses recherches appliquées en contact régulier avec les producteurs. Lorsque deux chercheuses de l'Université de Caen rallient le groupe[48], il est renommé « Interflore », une appellation qui rend mieux compte de son extension au-delà des massifs montagneux de l'Est et du Massif central. D'autres chercheurs (de l'INRA de Corte, du Centre Fromager de Carmejane…) participent de façon plus ponctuelle aux réunions. Certains de ces visiteurs ponctuels sont engagés dans des démarches de sélection de souches autochtones, ce qui suscite des réserves de la part des participants historiques :

> Cette approche avait été utilisée en Comté dans un premier temps. Aujourd'hui, il semble préférable de travailler en amont pour avoir de la flore utile au niveau des laits plutôt que de travailler sur des cocktails de souches[49].

30 Quelques années après sa création, l'identité du groupe s'est clarifiée : son animateur l'auto-définit comme

> un groupe informel de travail rassemblant des personnes convaincues de la nécessité de la préservation de la flore indigène du lait, chargées de programmes de recherche en lien avec la flore des laits destinées à des AOC au lait cru et qui souhaitent échanger sur les actions en cours[50].

« Réservoirs de flore » et « flux microbiens » : une approche écosystémique

31 Cette communauté de recherche au départ informelle et fonctionnant sans budget dédié veut développer une réflexion pour promouvoir des pratiques permettant de ré-enrichir les laits. Au rythme de deux réunions par an, ses participants échangent des idées, partagent les résultats préliminaires de programmes en cours, réfléchissent aux méthodes d'analyse et aux protocoles de recherche – toujours sur le thème des flores du lait cru. Pour attirer l'attention sur le rôle positif des microorganismes et renverser le stigmate négatif dont ils sont victimes, ils publient des articles au titre éloquent, tel que « Les communautés microbiennes, artistes des fromages au lait cru » (Montel *et al.*, 2005). Ils partagent l'idée que les microorganismes sont présents de façon ubiquistes dans l'environnement, et qu'il est prioritaire de travailler sur les pratiques des éleveurs permettant de ré-enrichir les laits en microflore native.

32 Combinant les méthodes classiques et les méthodes moléculaires en cours de développement (voir ci-dessous), des investigations sont menées sur les « réservoirs de flore » : le foin, la surface des trayons, les prairies, mais également ce que techniciens et éleveurs appellent joliment « l'ambiance » de la salle de traite, qui comprend des poussières et aérosols riches en microorganismes. Les résultats de travaux pionniers menés en Savoie par le GIS Alpes du Nord montrent que c'est sur l'extrémité du pis des vaches, le trayon, que l'on trouve la flore microbienne la plus riche (par comparaison avec la mamelle, le matériel de traite, l'air) (Michel *et al.*, 2001). L'étape suivante sera alors de travailler sur les « flux microbiens » entre ces réservoirs (Verdier-Metz *et al.*, 2009 ; Montel *et al.*, 2012). Un projet mené à l'INRA d'Aurillac met par exemple en évidence le transfert microbien du trayon vers le lait, et ce, même avec une machine à traire (Verdier-Metz *et al.*, 2012). En outre, les chercheurs cherchent à établir scientifiquement ce qui est déjà connu empiriquement, à savoir qu'un lait pauvre en microflore est particulièrement vulnérable aux invasions pathogènes. À l'inverse, la compétition entre microorganismes au sein de laits présentant une microflore riche freine le développement de toute bactérie exogène, ce qui rend ces laits plus résilients face aux contaminations pathogènes comme la listeria : c'est l'« effet-barrière » (Retureau *et al.*, 2010).

33 Parallèlement, le groupe développe une réflexivité sur les méthodes utilisées pour saisir les microorganismes. Ainsi Marie-Christine Montel énonce-t-elle en 2003 les limites de l'approche « *par culture* » [sur boîte de Pétri] que suppose le dénombrement des germes par unité de volume : celle-ci « *déforme la réalité* » car elle ne met en évidence que les souches capables de se multiplier sur un milieu donné. Elle s'ensuit d'une assignation des colonies à telle ou telle espèce, catégorie de référence pour les microbiologistes. La chercheuse invite à prêter plus d'attention aux méthodes moléculaires et génomiques émergentes, fondées sur la détection de marqueurs ADN, qui permettent d'avoir une vision globale d'une population microbienne, et offre un outil intéressant pour suivre de manière dynamique des populations ou pour comparer des échantillons entre eux. L'analyse de la chercheuse préfigure celle des philosophes de la biologie John Dupré et Maureen O'Malley, qui voient dans la métagénomique une approche aux implications ontologiques fortes, au sens où elle fait émerger de nouveaux objets d'étude pour la microbiologie, dont le périmètre, la nature, les propriétés sont radicalement différents de ceux étudiés par la microbiologie pasteurienne (Dupré & O'Malley, 2014) : en l'occurrence, le monde microbien appréhendé par la métagénomique est beaucoup plus dynamique et divers que ce que les approches par culture donnent à voir.

Des fiches techniques à la synthèse « Microflore des laits crus » : une démarche de vulgarisation

34 Entre 2005 et 2007, les membres du groupe publient une série de fiches techniques[51], pour que « les techniciens de terrain aient de l'information qu'ils pourront utiliser pour le conseil en élevage »[52]. Celle coordonnée par Pierre Parguel explicite l'orientation d'écologie microbienne que doivent prendre pour eux les recherches sur les fromages au lait cru, en se démarquant explicitement des approches par isolement de souches :

> Ces études doivent s'intéresser aux effets d'une communauté microbienne et non aux seuls effets d'un germe particulier. Ces approches sont qualifiées d'approches

> écologiques. Elles peuvent se dérouler en conditions maîtrisées en laboratoire avec une confirmation en situation réelle par la suite.

35 Une note précise :

> L'approche flore par flore avec reconstitution des effets est une approche « pasteurienne » davantage adaptée aux fromages du même nom. Elle ne donne pas entière satisfaction pour les fromages au lait cru.

36 La fiche coordonnée par Valérie Michel pose, elle, les jalons d'une réflexion sur l'inadaptation de la métrique « germes totaux » utilisée dans le paiement du lait, et l'importance de trouver des indicateurs alternatifs pour suivre la qualité fromagère des laits :

> D'une part, la flore utile, et notamment fromagère, des laits crus n'est pas un paramètre pris en compte dans les systèmes actuels de paiement du lait, même pour les filières fromagères au lait cru ; c'est plutôt la présence de germes indésirables qui est recherchée et sanctionnée. Le niveau de flore totale (ou FMAR) n'est pas non plus un indicateur de la qualité fromagère des laits. Le technicien peut alors avoir des difficultés à établir un dialogue avec le producteur car ils manquent de repères communs. D'autre part, pour le suivi de la qualité fromagère du lait, seul le test de lactofermentation est un indicateur tangible de cette qualité et permet l'appropriation de cette notion de flore utile.

37 Et d'en tirer les conséquences :

> De manière générale, ceci pose également la question du positionnement du conseil technique entre des producteurs de lait (payés sur le critère de la flore totale) et les fromagers (à la recherche de flore utile).

38 Au départ informel, le groupe est pérennisé sous le titre « Écosystèmes microbiens » au sein du Réseau Mixte Technologique (RMT) « Fromages de terroir » créé en 2007, « pour des échanges techniques et scientifiques sur les écosystèmes microbiens fromagers des productions au lait cru » (Montel, Bouton & Parguel, 2012). Dès lors qu'il est financé, le groupe doit rendre des comptes sur son activité. C'est alors qu'est produite la synthèse *Microflore des laits crus* coordonnée par Cécile Laithier, qui prend la suite de Pierre Parguel à son départ à la retraite (Laithier, 2011). Cet ouvrage, rendu accessible tant par le format des articles que par sa publication en ligne, est une mine d'information pour qui cherche à comprendre les dynamiques des communautés microbiennes au sein des productions fromagères au lait cru – un de nos interlocuteurs en parle comme de « la Bible ». L'association britannique *Specialist Cheese Makers*, alliance de fromagers, crémiers, grossistes impliqués dans la défense et le développement des fromages artisanaux, en a financé la traduction en anglais (Laithier, 2018), preuve de sa pertinence pour le renouveau des fromages artisanaux dans le monde anglo-américain (Percival & Percival, 2017 ; Paxson, 2012).

Instaurer un dialogue régulier avec les techniciens

39 Cependant, la force du groupe ne réside pas tant dans les échanges entre scientifiques, qui seraient, selon les chercheurs, déjà nombreux, que dans la rencontre avec des techniciens au plus proche des pratiques des éleveurs et fromagers. Pour les scientifiques, les techniciens sont des appuis précieux non seulement pour organiser des enquêtes de terrain et des campagnes de prélèvement, mais aussi pour « *prendre en compte la stratégie de l'éleveur et les changements des pratiques* », et « *avoir une remontée des demandes de terrain* ». Le groupe décide alors d'inviter les techniciens d'élevage en charge de l'appui technique aux éleveurs laitiers, en précisant tout de même dans un

premier temps, « *seulement les techniciens des filières et non les techniciens d'entreprise* » craignant des blocages dans les échanges si des grands groupes sont représentés[53]. C'est ainsi que commence, à partir de 2004, un cycle de rencontres biennales entre techniciens et chercheurs. Leur intitulé fait d'abord apparaître les termes de « flores du lait », avant de mettre en valeur à partir de 2010 les notions de flux et d'équilibres microbiens – on parle dès lors des journées « Flumi », pour « Flux microbiens » [54].

40 Les journées associent une présentation des recherches sur les flores des laits à des débats pour faire émerger des pistes de travail, à la fois pour la recherche mais également pour les filières. En 2006, le compte-rendu des journées mentionne :

> la question se pose de revoir les conditions d'intervention en ferme pour concilier un double objectif : maîtriser les flores pathogènes tout en préservant la flore native utile. [...] Les approches proposées supposent un nouveau regard sur le métier et sur les produits. Le microbe n'est plus un ennemi, il peut devenir un allié qualité.

41 Une idée prend progressivement forme, celle d'accompagner les techniciens d'élevage et les éleveurs dans la transformation des pratiques d'élevage impactant les flores microbiennes, ce qui passe par la transformation du regard sur les microorganismes.

42 Les discussions se développent parallèlement autour de l'élaboration d'un « indicateur positif » des flores qui concurrencerait la métrique du paiement du lait[55]. Plusieurs pistes sont envisagées. L'option du test de lactofermentation est discutée lors de la rencontre de 2004, une fois publiés les résultats de l'étude de validation du test dans la filière Comté (Bérodier *et al.*, 2000). Plus tard, une étude sur le Laguiole menée conjointement par Actilait et le Pôle fromager Massif Central expérimente un indice de « *la part respective des groupes [microbiens] en fonction de leurs rôles* »[56].

43 En 2008, les journées se tiennent à Laguiole, dans l'Aveyron. Françoise Monsallier, future coordinatrice du projet FlorAcQ, fait le récit d'un atelier animé par Pierre Parguel :

> Pierre a fait travailler tout le monde [...]. Et là est sortie la fameuse idée [du rôle] des techniciens : "on sait intervenir dans les élevages qui ont des problèmes, ça on sait faire, c'est notre métier de tous les jours. Rechercher les pathogènes, trouver les solutions pour lutter contre les pathogènes, ça on sait faire. Par contre, on est démunis pour conseiller justement des producteurs de lait cru qui n'ont pas de problèmes. Voilà, on sait leur dire qu'il y a des flores utiles dans le lait, mais on sait pas comment leur montrer, on n'a pas d'outils de mesure pour mesurer ces flores-là, et puis on n'a pas d'outils pour les accompagner, pour enrichir justement la diversité ou essayer de faire augmenter les niveaux de flore utile dans les laits. [...] Aux réunions suivantes du groupe « écosystèmes [microbiens] » à Paris, qui étaient toujours animées par Pierre, forts de cette demande des techniciens [...] on a réfléchi à comment on pouvait monter un programme pour répondre à cette question.

L'écologie microbienne à la ferme

Une démarche d'accompagnement des producteurs laitiers vers la prise en compte des communautés microbiennes d'intérêt fromager

44 Le programme FlorAcQ[57], promoteur d'une démarche qualifiée par ses rédacteurs d'« écologie microbienne dirigée », émerge à la croisée des préoccupations de

techniciens d'élevage et des chercheurs et animateurs du groupe Écosystèmes microbiens. Selon les termes du projet, il s'agit de :

> concevoir et formaliser une démarche d'accompagnement des producteurs laitiers aux changements de pratiques en vue de "piloter" les équilibres microbiens des laits crus, plutôt que de les subir ;
> contribuer à l'amélioration de la qualité microbiologique des laits en faveur des flores microbiologiques d'intérêt pour les fromagers tout en garantissant la qualité sanitaire des produits.

45 Les porteurs du projet accordent un soin particulier à ne pas cliver la filière et à inclure le plus grand nombre dans la démarche, en tenant compte des pratiques devenues communes d'introduction de ferments exogènes dans le lait. En outre, conscients de l'impact du paiement à la qualité sur les pratiques, les membres du groupe s'attellent finalement à mettre au point les « indicateurs positifs » alternatifs à la mesure des germes totaux, plus orientés vers la qualité fromagère et la représentation de la diversité des communautés microbiennes du lait.

46 Le projet, financé entre 2011 et 2014 par le CASDAR[58], est coordonné par la Chambre d'agriculture du Cantal. Le lien avec les laboratoires de recherche est d'autant plus facile que la coordinatrice, Françoise Monsallier, était auparavant en détachement à l'Unité Recherches fromagères de l'INRA d'Aurillac. L'objectif est triple : formalisation d'une méthode de conseil aux éleveurs, mise en place de méthodes d'analyse de la qualité microbiologique des laits en termes d'« équilibre microbien et de fonctionnalité », et poursuite de la recherche de « connaissances techniques sur les réservoirs microbiens » (Monsallier *et al.*, 2016)[59].

De nouvelles représentations pour parler aux éleveurs des flores du lait

47 Le projet recrute des participants s'engageant sur les objectifs généraux de la démarche, et leur propose un accompagnement collectif et individuel. Les réunions (présentation, formation, bilan et propositions d'action) alternent avec des visites individuelles de chaque ferme. À l'échelle de la ferme, l'accompagnement combine diagnostics de pratiques et analyses du lait (déclinées en deux temps : prélèvements, puis restitution). Le diagnostic repose sur une évaluation des conditions de production de lait et des pratiques permettant l'enrichissement des communautés microbiennes du lait tout en garantissant la sécurité sanitaire, à travers plusieurs items : santé des animaux, alimentation du troupeau, couchage des animaux, état des trayons, hygiène de la traite, fonctionnement et maintenance du matériel de traite et de stockage du lait.

48 En septembre 2019, Françoise Monsallier, conseillère à la Chambre d'agriculture, a programmé pendant une semaine des visites FlorAcQ dans trois fermes laitières sur le plateau de la Planèze de Saint-Flour (Cantal). Deux d'entre elles sont membres de petites coopératives qui transforment le lait en Cantal AOP au lait cru et qui ont entamé en 2019 une démarche collective FlorAcQ[60]. La troisième combine livraison de lait et fabrication fermière de bleu d'Auvergne et fourme d'Ambert. Nous assistons à un diagnostic au sein de la première ferme. La visite commence avec la traite, suivie par un tour de la ferme en compagnie des éleveurs, afin d'examiner d'autres éléments (produits de nettoyage, stockage des aliments…). Des prélèvements de lait ont déjà été réalisés lors d'une précédente visite et envoyés à un laboratoire d'analyse. Dans les deux autres fermes, nous assistons à la restitution, qui se déroule autour d'une table au

domicile des éleveurs. Elle commence par un exposé des résultats d'analyses du lait, au cours duquel la conseillère détaille la succession des flores lors des différentes étapes d'élaboration du fromage ainsi que les relations d'équilibre et concurrence entre populations microbiennes :

> Elles prennent la place et en plus elles produisent des molécules, elles produisent de l'eau oxygénée qui tuent les autres. Voilà elles sont capables de… faire le ménage.

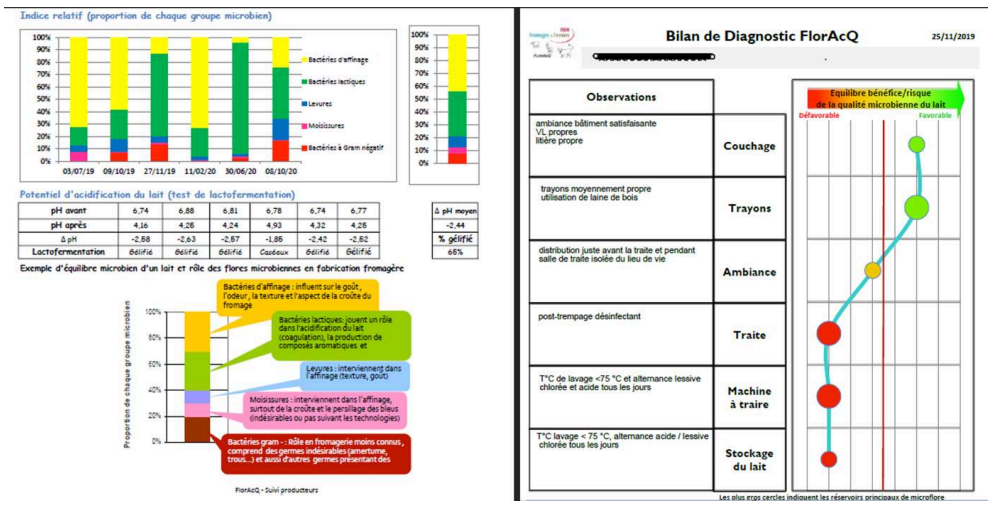
49 Face à des observations problématiques, comme des variations importantes des « germes totaux », un dialogue s'engage entre la conseillère et les éleveurs[61]. Ensemble, ils tissent des liens entre catégories de microorganismes, dont la présence est rendue tangible par le résultat des analyses, les vaches, la machine à traire, le tank à lait et les nombreux autres actants de la ferme. Ensuite, la conseillère synthétise le bilan du diagnostic de pratiques. Elle appuie ses propos sur une fiche qui offre une visualisation des résultats d'analyse et de l'évaluation des pratiques. Précédant des graphiques réalisés à partir des analyses courantes de paiement du lait, une figure présente les valeurs de l'« indice relatif », qui rend compte de la proportion respective de cinq groupes microbiens du lait[62] (fig. 3). Cet indice créé de façon *ad hoc* pour le programme FlorAcQ réalise l'objectif de créer un indicateur alternatif aux germes totaux. Il met en valeur la microbiodiversité intrinsèque des flores du lait, qualifiées par leur fonctionnalité (bactéries d'affinage) ou des critères taxonomiques (levures). Il propose une représentation des microorganismes du lait en termes d'équilibres microbiens plutôt qu'une quantification de la flore totale ou une détection de la présence de pathogènes. L'indice relatif est suivi par le résultat d'un test de lactofermentation.

50 Dernier outil de l'accompagnement, une courbe présente l'impact des pratiques sur les flores microbiennes (fig. 3). Comme l'explique un conseiller :

> L'intérêt de cet enchaînement - on a fait ça sous forme d'une espèce de courbe, un slalom - c'est qu'on pouvait montrer au producteur que ce qu'il faisait bien à un endroit, il venait le gâcher à un autre endroit.

51 Dans l'esprit de ses concepteurs, ce schéma vise ainsi à visualiser les « cassures » dans la gestion du flux microbien.

Figure 3 : Extraits de la fiche de restitution



Légende : indices relatifs, tests de lactofermentation, bilan des pratiques impactant les flores microbiennes du lait.

Source : Françoise Monsallier, Chambre d'agriculture du Cantal

52 Comme le montre la suite de la discussion ce jour-là, les indices relatifs sont autant pensés comme des outils de suivi et de comparaison que « de formation et de communication ». Ils forment un support concret aux échanges entre conseillère et producteurs sur les groupes microbiens du lait, opérant comme un *objet-frontière* qui vise à terme à instiller des représentations renouvelées des microorganismes fromagers (Trompette & Vinck, 2009).

53 Ailleurs, dans la filière Comté, les conseillers manifestent leur préférence pour le test de lactofermentation. L'indice relatif n'a pas convaincu les conseillers, qui doutent de la capacité des milieux de culture à reproduire la croissance effective des bactéries dans le lait[63]. En outre, s'il offre une représentation des microorganismes du lait, il ne donne pas de prises pour apprécier la qualité à venir des fromages, contrairement au test de lactofermentation :

> Moi je voudrais le lien avec la qualité des fromages, (...) mon approche en tant que technicien fromager, c'est pas l'indice relatif en tant que tel, c'est l'indice relatif pour faire des bons fromages. Ou pour éviter d'en faire des mauvais.

54 Plus généralement, on reproche à l'indice relatif de ne pas être relié dans un rapport de causalité établi avec les pratiques d'élevage. Car si les éleveurs sont incités à enrichir l'ambiance microbienne de la ferme et à favoriser les flux microbiens vers le lait, et ce, de façon *indirecte*, en prêtant attention à telle ou telle pratique, l'indice relatif n'a pas valeur de preuve pour évaluer le résultat positif de ces efforts. Les effets de telles pratiques ne sont en effet perceptibles dans les analyses qu'à long terme, dans un horizon de dix ans. Face à un déficit de tangibilité, la conseillère appelle à la patience, l'absence de problèmes sanitaires étant déjà un résultat en soi.

55 Pour beaucoup de producteurs laitiers, leurs efforts sont tournés vers l'obtention d'un « *lait propre* », la bonne « *qualité bactério* », ce qui sera sanctionné positivement par le paiement à la qualité. Cela se résume pour eux à respecter des seuils, et plus encore, à maintenir les chiffres des indicateurs réglementaires au plus bas. Force est de constater que la démarche FlorAcQ bouscule cette logique en amenant les producteurs à reconsidérer leurs critères pour évaluer leur travail. Le lait, s'il doit toujours respecter des teneurs réglementaires en germes totaux, cellules, et en quelques germes spécifiques, s'apprécie dans un cadre plus large attentif aux équilibres microbiens[64]. D'autres éleveurs impliqués dans FlorAcQ sont déjà attentifs au microbisme de la ferme[65] : la démarche leur est bénéfique au sens où elle leur offre de nouvelles connaissances microbiologiques et légitime leurs efforts.

56 La démarche FlorAcQ invite à décentrer le regard, de la seule logique du risque vers l'intérêt qu'offrent les microorganismes pour la transformation fromagère. Elle reste nuancée dans ses objectifs, à savoir, accentuer la typicité des fromages au lait cru tout en conservant la « qualité sanitaire », à savoir, l'absence de risque d'intoxication alimentaire. La démarche ne propose donc pas un renversement du « mauvais » vers le « bon » microbe ; elle reconnaît l'ambivalence des microorganismes. En revanche, elle met de façon inédite la focale sur la présence ambiante des populations microbiennes et sur leurs dynamiques, spatiales et temporelles. La pédagogie de « l'écologie microbienne dirigée » invite les éleveurs à soigner les communautés microbiennes de la ferme, et à piloter les flux microbiens vers le lait, à travers toute une série d'actions indirectes.

57 Il reste que peu de techniciens sont formés à la démarche FlorAcQ, et l'adoption de pratiques moins destructives pour les flores est entravée par des injonctions à réduire

toujours plus la charge microbienne du lait, via les grilles de paiement[66] et les conseils procurés par les techniciens d'autres structures. Si certains professionnels, comme en Beaufort, envisagent d'intégrer un critère de fromageabilité dans le paiement à la qualité, si quelques coopératives de Comté ont franchi le pas, avec une bonification du prix liée au résultat du test de lactofermentation, les incitations à produire un lait « propre » et pauvre en flore restent une tendance de fond.

Conclusion : catégories microbiennes et indicateurs de la qualité du lait

58 Cette enquête, située dans un espace-temps précis de la France fromagère au lait cru au tournant des années 2000, nous plonge délibérément dans un monde où les acteurs ne s'affrontent pas tant sur le principe abstrait de l'utilité des microbes en général, que sur les cadrages et recadrages à opérer sur les microorganismes pour répondre à des enjeux très concrets : la baisse de fromageabilité des laits paucimicrobiens, doublée pour les filières sous Appellation d'origine de la perte de typicité des fromages liée à l'érosion des flores natives du lait. Les partisans du développement de souches sélectionnées voient les microorganismes comme « arraisonnables » aux techniques en vigueur dans le domaine : culture sur milieu sélectif, purification, description, stabilisation, tout en considérant qu'on peut reconstituer la complexité microbienne native par des assemblages de souches. Par contraste, les promoteurs de l'écologie microbienne dirigée reconnaissent l'ubiquité des micro-organismes, leur fonctionnement complexe en communautés, ainsi que leur vie autonome dans les micromondes et les interstices, et parient sur les pratiques artisanales pour les orienter au mieux. La démarche d'accompagnement des éleveur·ses développée par les conseillers FlorAcQ constitue une sensibilisation à l'existence de communautés microbiennes complexes en interaction avec leurs milieux. Cette transformation du regard sur les microorganismes est d'autant moins assimilable à un tournant « probiotique » (voir introduction au numéro), ne serait-ce que parce que le terme est associé chez nos interlocuteurs à l'industrie probiotique, précisément fondée sur la sélection et la production de souches stables. Plutôt qu'un basculement « anti-microbes » / « pro-microbes », ce qui se joue là est l'émergence d'une conception écosystémique de la vie microbienne. À cet égard, la mise à distance de la métrique des germes totaux/ml et la proposition d'un indicateur alternatif constitue moins une « controverse métrologique » (Chateauraynaud & Debaz, à paraître) qu'un déplacement ontologique. Les travaux en sciences sociales qui embrassent la multiplicité d'entités saisies par les différents champs de la microbiologie sous le terme englobant « microbe » risquent fort bien de passer à côté de telles nuances[67].

59 Un autre volet de notre article concerne la dimension performative et politique des indicateurs, outils de représentation du réel d'autant plus stratégiques ici qu'ils concernent des entités invisibles à l'œil nu. Pensés pour sortir d'une conception indifférenciée et négative en termes de « germes totaux », les « indices relatifs » sont pensés à la fois comme outil de mise en circulation des savoirs en écologie microbienne, et comme levier de transformation des pratiques. Cependant, ils ne font pas l'unanimité chez les techniciens et éleveurs : ces derniers souhaiteraient un indicateur bon marché[68], au résultat immédiat, accessible à la ferme[69], et surtout, facile à interpréter. Sur ce point, écologues microbiens d'une part, et techniciens et éleveurs

d'autre part, n'ont pas la même perspective. Les uns sont intéressés par une caractérisation affinée de la flore microbienne du lait, quand les autres se préoccupent avant tout d'évaluer sa qualité fromagère. S'il apporte un peu de nuances par rapport à la métrique rudimentaire du nombre de germes/ml, l'indice relatif ne parvient pas à appréhender la qualité fromagère du lait de façon aussi pertinente qu'un simple test issu de la pratique des fromagers. À cet égard, malgré les fortes convergences de regard entre scientifiques et praticiens rassemblés dans le groupe « interflore », une tension subsiste entre ceux qui privilégient une démarche analytique sur le lait, au risque de « saucissonner » ses éléments (microbiologie, physico-chimie, enzymes…)[70], et ceux qui préfèrent embrasser de façon globale et pragmatique cette matière vivante complexe qu'est le lait cru, quitte à renvoyer à l'arrière-plan la compréhension des mécanismes biologiques.

Une partie de cette recherche a été réalisée dans le cadre du projet REPASTOL dirigé par Geneviève Teil et Claire Cerdan (AMI2015), sur un financement INRA-CIRAD GloFoodS. Nous remercions vivement toutes les personnes qui ont répondu à nos questions, avec une mention spéciale à Antoine Bérodier, Cécile Laithier, Valérie Michel, Françoise Monsallier, Pierre Parguel. Des versions intermédiaires de ce texte ont été relues par Juliette Kon Kam King, Francis Chateauraynaud, trois lecteurs-arbitres anonymes, et les éditeurs invités du numéro. Leurs critiques et commentaires nous ont été grandement utiles pour améliorer le texte.

BIBLIOGRAPHIE

Arilait Recherches (dir.). (2000). *Les laits paucimicrobiens : Caractérisations microbiologique et enzymatique. Analyse de leurs aptitudes technologiques*. Arilait Recherches.

Bérodier, A., Parguel, P., Dasen, A., Duboz, G., Renaud, J.-P., Billot, M. *et al*. (2001). *Validation du test de lactofermentation en filière Comté (1999-2000)* (p. 89). Poligny : Centre Technique des Fromages Comtois.

Bonnaud, L. & Coppalle, J. (2009). Les inspecteurs vétérinaires face aux normes privées. *Revue d'Études en Agriculture et Environnement*, *90*(4), 399–422.

Bouleau, G. & Deuffic, P. (2016). Qu'y a-t-il de politique dans les indicateurs écologiques ? *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, *16*(2). https://doi.org/10.4000/vertigo.17581

Bouton, Y. & Grappin, R. (1995). Comparaison de la qualité de fromages à pâte pressée cuite fabriqués à partir de lait cru ou microfiltré. *Le Lait*, *75*(1), 31–44. https://doi.org/10.1051/lait:199513

Bouton, Y., Guyot, P. & Grappin, R. (1998). Preliminary characterization of microflora of Comté cheese. *Journal of Applied Microbiology*, *85*(1), 123–131. https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.1998.00476.x

Bret, J.-J. (2021). *Les héritiers du Comté. Résistance et renaissance de 1945 à 2013*. Dijon : Raison et Passions.

Buchin, S. & Beuvier, E. (2000). La spécificité des fromages au lait cru : le rôle de la microflore naturelle. *Renc. Recherches Ruminants*, *7*, 361–363.

Casabianca, F., Sylvander, B., Noël, Y., Beranger, C., Coulon, J.B., Roncin, F. *et al.* (2011). Terroir et Typicité : un enjeu de terminologie pour les Indications Géographiques. Dans C. Delfosse (dir.), *La mode du terroir et les produits alimentaires* (pp. 101–117). Paris : Les Indes Savantes.

Cefaï, D. (1996). La construction des problèmes publics. Définitions de situations dans des arènes publiques. *Réseaux*, *14*(75), 43–66. https://doi.org/10.3406/reso.1996.3684

Chamba, J.-F. (2005). La préservation *ex situ* de la ressource microbienne. Dans M.-C. Montel, C. Béranger & J. Bonnemaire (dir.), *Les fermentations au service des produits de terroir* (pp. 233–236). Versailles : Quae.

Chateauraynaud, F. (2004). L'épreuve du tangible. Expériences de l'enquête et surgissements de la preuve. Dans B. Karsenti & L. Quéré (dir.), *La croyance et l'enquête. Aux sources du pragmatisme* (pp. 167–194). Paris : EHESS.

Chateauraynaud, F. & Debaz, J. (à paraître). Alternatives métrologiques. La critique des « solutions » numériques et la fabrique de prises collectives. Dans L. Allard (dir), *Écologies mobiles*.

Cornu, P., Valceschini, E. & Maeght-Bournay, O. (2018). *L'histoire de l'Inra, entre science et politique*. Versailles : Quae.

Demeulenaere, É. (2014). A Political Ontology of Seeds: the transformative Frictions of a European farmers' movement. *Focaal - Journal of Global and Historical Anthropology*, *69*, 45–61. https://doi.org/10.3167/fcl.2014.690104

Demeulenaere, E. (2018). *« Apprivoiser le vivant invisible. Savoirs, usages, appropriations de la microbiodiversité fromagère ». Synthèse du séminaire organisé dans le cadre du projet REPASTOL (15-16 décembre 2016, au Muséum National d'Histoire naturelle)* (p. 8). Paris : CNRS. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03083479.

Delfosse, C. (2007). *La France fromagère (1850-1990)*. Paris : Boutique De L'histoire.

Dewey, J. (1993). *Logique : la théorie de l'enquête*. Paris : Presses universitaires de France.

Dupré, J. & O'Malley, M. A. (2007). Metagenomics and biological ontology. *Studies in history and philosophy of biological and biomedical sciences*, *38*(4), 834–846. https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2007.09.001

Ferret, C. (2012). Vers une anthropologie de l'action. André-Georges Haudricourt et l'efficacité technique. *L'Homme*, *202*, 113–140. https://doi.org/10.4000/lhomme.23041

Gemelas, L., Rigobello, V., Ly-Chatain, M.H. & Demarigny, Y. (2013). Selective *Lactococcus* Enumeration in Raw Milk. *Food and Nutrition Sciences*, *4*(9), 49–58. https://doi.org/10.4236/fns.2013.49A2008

Guyonnet, J.-P. (2008). *La conservation des souches d'intérêt laitier Procédure de gestion des collections et modes opératoires de congélation des microorganismes d'intérêt laitier*. Arilait Recherches.

Haas, P. M. (1992). Introduction: Epistemic Communities and International Policy Coordination. *International Organization*, *46*(01), 1–35. https://doi.org/10.1017/S0020818300001442

Laithier, C. (Ed.). (2011). *Microflore du lait cru. Vers une meilleure connaissance des écosystèmes microbiens du lait et de leurs facteurs de variation*. RMT Fromages de Terroir, CNAOL.

Laithier, C. (dir.). (2015). *The Microbiology of Raw Milk. Towards a better understanding of the microbial ecosystems of milk and the factors that affect them*. (Traduction J. Rogers). RMT Fromages de Terroir, CNAOL, Specialist Cheese Makers Association.

Laugier, S. (2015). Care, environnement et éthique globale. *Cahiers du Genre*, *59*(2), 127–152. https://doi.org/10.3917/cdge.059.0127

Leseur, R. (1998). Fromage et listériose humaine. La crise des années 1986-1987. Dans M. Apfelbaum (dir.), *Risques et peurs alimentaires* (pp. 33–42). Paris : Odile Jacob.

Michel, V., Hauwuy, A. & Chamba, J.-F. (2001). La flore microbienne de laits crus de vache : diversité et influence des conditions de production. *Le Lait*, *81*(5), 575–592. https://doi.org/10.1051/lait:2001151

Ministère de l'Agriculture. (1930). *Comment il faut faire le beurre à la ferme*. http://www.ina.fr/video/VDD10045515.

Monsallier, F. (2014). *FlorAcQ : Démarche d'accompagnement des producteurs de laits pour orienter les équilibres microbiens des laits en faveur de la qualité des fromages au lait cru. Pour les filières fromagères ou ateliers de transformation fromagère soucieux d'améliorer la spécificité de leurs fromages en s'appuyant sur les communautés microbiennes qu'offrent les laits crus de ferme*. Aurillac : Chambre d'Agriculture du Cantal.

Monsallier, F., Couzy, C., Chatelard-Chauvin, C., Bouton, Y., Feutry, F., Verdier-Metz, I. *et al.* (2016). Accompagner les producteurs laitiers pour orienter les équilibres microbiens des laits en faveur de la qualité des fromages au lait cru. *Innovations Agronomiques*, *49*, 267–279.

Montel, M.-C., Bouton, Y. & Parguel, P. (2012). Écosystèmes des laits et des fromages au lait cru – enjeux pour leur maîtrise. *Renc. Recherches Ruminants*, *19*, 233–240.

Montel, M.-C., Callon, C., Berthier, J.-F., Chamba, J.-F. & Guéguen, M. (2005). Les communautés microbiennes, artistes des fromages au lait cru. Dans M.-C. Montel, C. Béranger & J. Bonnemaire (éd.), *Les fermentations au service des produits de terroir*. Versailles : Quae.

Paxson, H. (2012). *The Life of Cheese. Crafting Food and Value in America*. Berkeley, Calif.: University of California Press.

Paxson, H. & Helmreich, S. (2017). Périls et promesses de l'abondance microbienne. Natures nouvelles et écosystèmes modèles, du fromage artisanal aux mers extraterrestres (traduction V. Leÿs). *Techniques & Culture*, 68, 248–285. https://doi.org/10.4000/tc.8647

Percival, B. & Percival, F. (2017). *Reinventing the Wheel: Milk, Microbes, and the Fight for Real Cheese*. London: Bloomsbury.

Portmann, A. (1955). Influences respectives de la propreté des ustensiles et du refroidissement après la traite sur la qualité bacteriologique du lait cru. *Le Lait*, *35*(343–344), 132–150. https://doi.org/10.1051/lait:1955343-3446

Retureau, É., Callon, C., Didienne, R. & Montel, M.-C. (2010). Is microbial diversity an asset for inhibiting Listeria monocytogenes in raw milk cheeses? *Dairy Science & Technology*, *90*(4), 375–398. https://doi.org/10.1051/dst/2010010

Richard, J. & Daufin, G. (1973). Qualité bactériologique du lait cru. Dans Direction scientifique des Productions Animales (dir.), *Recherches en productions animales* (pp. 165–166). Service de Presse, Edition, Information (SPEI).

Scott, J. C. (2021). *L'œil de l'État : moderniser, uniformiser, détruire*. (O. Ruchet, Trad.). Paris : La Découverte.

Sommellier, L., Heuchel, V., Lequenne, D., Le Roux, Y. & Chamba, J.-F. (1997). Caractérisation de la flore microbienne et de l'aptitude technologique des laits paucimicrobiens. *Renc. Recherches Ruminants, 4*, 347–350.

Trompette, P. & Vinck, D. (2009). Retour sur la notion d'objet-frontière. *Revue d'anthropologie des connaissances*, *3*(1), 5–27. https://doi.org/10.3917/rac.006.0005

Verdier-Metz, I., Gagne, G., Bornes, S., Monsallier, F., Veisseire, P., Delbès-Paus, C. & Montel, M.-C. (2012). Cow teat skin, a potential source of diverse microbial populations for cheese production. *Applied and Environmental Microbiology*, *78*(2), 326–333. https://doi.org/10.1128/AEM.06229-11

Verdier-Metz, I., Michel, V., Delbès, C. & Montel, M.-C. (2009). Do milking practices influence the bacterial diversity of raw milk? *Food Microbiology*, *26*(3), 305–310. https://doi.org/10.1016/j.fm.2008.12.005

NOTES

1. Le lait cru est défini selon la loi comme le lait produit par la sécrétion de la glande mammaire d'animaux d'élevage n'ayant pas été chauffé à plus de 40°C ni soumis à un traitement d'effet équivalent (règlement (CE) n°853/2004).
2. Selon un bref compte-rendu paru dans *Le Mensuel du CNAOL* d'octobre 2015.
3. D'autres sources donnent une fourchette plutôt qu'une moyenne, ou encore, un pourcentage de laits récoltés en dessous d'un certain seuil. Si les chiffres fluctuent, la tendance à la baisse reste la même.
4. https://www.professionfromager.com/journees-pro/jpro-no3/ [consulté le 15 juin 2021].
5. Notes de réunion.
6. Dans le chapitre 6 « Microbiopolitics » de sa monographie *The Life of Cheese* (Paxson, 2012), l'anthropologue parle d'une gestion « post-pasteurienne » des risques : les « post-pasteuriens » apparaissent de façon plus nuancée comme reconnaissant le risque sanitaire lié à certains microbes pathogènes.
7. Le biologiste et auteur d'un best-seller sur la vie microbienne Marc-André Selosse fait figure d'allié dans cette stratégie. Son plaidoyer grand public pour les microbes remet en question une vision étroite de l'hygiène ne laissant aucune place aux microorganismes. Remarquable orateur, il s'autorise de douces provocations, comme la revendication d'une « saleté propre », oxymore selon lequel « il y a un degré de saleté qui n'est pas sale et qui est propre à nous défendre et à nous aider à vivre mieux » (Selosse, 2017, p. 43).
8. L'ontologie désignant « ce qui est », et l'épistémologie « comment on le sait », nous désignons par là les choses du monde dont on reconnaît l'existence et la façon dont on s'outille pour les connaître.
9. S'ils ne se recoupent pas parfaitement, appellations d'origine et lait cru sont étroitement liés : 75 % des AOP laitières sont au lait cru, et les AOP représentent 75 % de la production laitière au lait cru.
10. Leurs noms évoluent rapidement au fil des fusions acquisitions, comme l'illustre un acteur omniprésent de notre récit, l'Institut Technique du Gruyère (ITG), organisme interprofessionnel de recherche sur les pâtes pressées cuites qui devient plus tard Institut Technique Français des Fromages (ITFF), puis en 2008 Actilait, et en 2013 par fusion, Actalia.
11. Ce texte se fonde sur des entretiens réalisés avec une dizaine de protagonistes, ainsi que sur la consultation de comptes-rendus de réunions, de documents issus de la littérature grise ou académique. Il se nourrit également d'une enquête multi-site commencée en février 2016 par Élise Demeulenaere dans le cadre du projet REPASTOL, et prolongée par Mathilde Lagrola dans le

cadre de sa thèse sur les conceptions de la sécurité sanitaire dans la fabrication fromagère au lait cru.

12. Ces éléments ont été discutés lors des journées organisées en décembre 2016 « Apprivoiser le vivant invisible – Savoirs, usages, appropriations de la microbiodiversité fromagère » (Demeulenaere, 2018).

13. Un documentaire institutionnel sur la fabrication du beurre à la ferme datant de 1930 insiste sur l'importance de l'hygiène de la traite, et conseille de « ne pas utiliser de seaux à large ouverture », afin « d'éviter l'introduction d'impuretés et de microbes » (Ministère de l'Agriculture, 1930).

14. « *[les producteurs] disposent de deux moyens pour parvenir au but que l'on se propose, c'est-à-dire l'obtention d'un lait cru de bonne qualité bactériologique : l'un de ces moyens réside dans les soins pris pour la récolte du lait et visant à réduire au minimum la contamination initiale ; l'autre est représenté par le refroidissement, rapide du lait afin de ralentir le développement des microorganismes* » (Portmann, 1955).

15. Loi n°69-10 du 3 janvier 1969 relative à l'institution du paiement du lait en fonction de sa composition et de sa qualité.

16. La qualité hygiénique et sanitaire du lait, telle que définie dans le décret n° 2012-1250 du 9 novembre 2012, est fonction de la teneur en germes totaux à 30°, des cellules somatiques à 30°, de l'absence de résidus d'antibiotiques. D'autres éléments peuvent être pris en compte, comme les staphylocoques à coagulase positive, les coliformes à 30° et les spores butyriques.

17. http://www.filiere-laitiere.fr/fr/filiere-laitiere/qualite-au-coeur-filiere-laitiere. Selon les accords interprofessionnels en vigueur, au-delà de 100 000 germes/ml à 30°C, le lait est considéré comme non conforme. Si le producteur ne se met pas en conformité dans un délai de trois mois, alors il ne peut plus livrer (sauf à pasteuriser son lait, qui sera alors moins valorisé).

18. Arrêté du 18 mars 1994 relatif à l'hygiène de la production et de la collecte de lait, pris en application de la directive européenne 92/46 du 16 juin 1992.

19. Dans la filière tome des Bauges, des producteurs expliquent leur logique : *« nous on est à 5000-10 000. On reste dans la propreté car si on dépasse les 100 000, on est pénalisés ». « Moi, je suis monté à 650 000 cet été. Je suis passé en C, j'ai perdu 1000€ sur le mois ». « Comment faire pour s'approcher des 100 000 sans les dépasser ? Augmenter la flore totale d'un producteur – il y a tellement de bactéries qu'on ne veut pas, c'est compliqué »* (Entretien avec M. CP et Mme CP, massif des Bauges, février 2016).

20. Grille mensuelle de paiement du lait cru de vache Bassin Grand-Sud Sodiaal, en vigueur au 1er janvier 2019. Disponible sur : https://www.coordinationrurale.fr/sodiaal-revient-sur-les-modalites-de-calcul-du-prix-du-lait/

21. Commission créée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), au sein de laquelle sont élaborées les normes alimentaires, les lignes directrices et les codes d'usage internationaux de référence dans les accords sanitaires et phytosanitaires (accords SPS) de l'Organisation mondiale du Commerce.

22. Olivier Cerf, président de la Task force mise en place par la France pour faire des propositions techniques à la Fédération internationale du Lait, dans le cadre de cette négociation au *Codex alimentarius* : témoignage au séminaire « Apprivoiser le vivant invisible ».

23. Directive 92/46/CEE du Conseil, du 16 juin 1992, arrêtant les règles sanitaires pour la production et la mise sur le marché de lait cru, de lait traité thermiquement et de produits à base de lait.

24. Les teneurs en salmonelle, staphylocoque doré, listéria et *Escherichia coli* font ainsi l'objet d'une surveillance régulière (Ricard, 1998).

25. *Hazard Analysis Critical Control Point*. Pour une généalogie de la démarche HACCP et sa généralisation en France, voir Bonnaud and Coppalle (2009).

26. « *La qualité bactériologique des laits a fait l'objet de nombreuses recherches qui ont abouti à la notion de paiement du lait, en fonction de la "qualité bactériologique" jugée à partir de la population totale*

exprimée en FMAR (Flore Mésophile, Aérobie, Revivifiable). In vitro, parallèlement, des travaux ont porté sur l'étude de certaines espèces prises isolément. Il ne semble pas, jusqu'à ce jour, qu'une recherche systématique n'ait été fait sous forme d'enquête, pour connaître la nature de la flore des laits réellement collectés (...).
Face à ces évolutions [dans la collecte, la conservation du lait, la transformation], les transforma[teurs] (fromagers notamment) ont pensé, peut-être un peu empiriquement, qu'il y avait eu comme corollaire, des modifications dans la composition de la flore des laits. Ils voient en particulier, dans cette modification de la flore (importance grandissante de la flore psychotrophe et thermorésistante et régression de la flore lactique), une des raisons ou difficultés rencontrées, en cours de fabrication (acidification difficile, goûts, odeurs, etc.).
D'autre part, ils se posent la question de savoir si le jugement de la qualité bactériologique, par le seul dénombrement de la flore totale est un test suffisant pour appréhender la "qualité fromagère" d'un lait » (document daté de 1977 intitulé « Observations sur la composition de la flore des laits », ITG - Dossier Flore des laits, Archives Actalia La Roche-sur-Foron).

27. Entretien avec André Ayerbe, directeur d'Arilait Recherches de 1984 à 2007, février 2020.

28. Pour un récit de la constitution de la souchothèque savoyarde, voir l'article d'Elise Tancoigne dans ce numéro.

29. La qualification « lait ultra-propre », porteuse de jugements de valeurs, de même que le terme « contamination », disparaissent progressivement dans les documents.

30. Ce terme désigne des microorganismes capables de se développer à basse température.

31. Élise Tancoigne identifie plusieurs régimes de sélection de ces ferments (Tancoigne, ce numéro).

32. L'Association des Fromages Traditionnels des Alpes Savoyardes (AFTAlp) rassemble les acteurs des filières des huit fromages de Savoie sous indication géographique (AOP Abondance, Chevrotin, Reblochon, Beaufort, Tome des Bauges ; IGP Emmental de Savoie, Raclette de Savoie, Tomme de Savoie).

33. Le GIS Alpes du Nord est une convention de travail signée par deux instituts de recherche (l'INRA et le CEMAGREF), l'Institut Technique Français des Fromages (ex. ITG, mentionné ci-dessus), la Chambre régionale d'agriculture de Rhône-Alpes, les Chambres d'agriculture et les Conseils Généraux de Haute-Savoie, Savoie et Isère, l'AFTAlp, l'Université de Savoie, et le SUACI Montagne, qui assure le secrétariat et la coordination du programme.

34. Hauwy A., A. Lamarche (Suaci-Gis Alpes du Nord), J.-F. Chamba (ITG Zone Sud Est, La Roche-sur-Foron), « Diversité de la composition de la microflore naturelle des laits des Alpes du Nord selon des types d'exploitation », projet de protocole pour discussion, 23 janvier 1998. Archives Actalia La Roche-sur-Foron, Chemise « Flore des laits Alpes ».

35. Entretien Valérie Michel, juillet 2016.

36. Billet de blog sur le site du Comté : « CIGC : Jean-Jacques Bret sur le départ », 21 juin 2013, https://www.comte.com/articles/cigc-jean-jacques-bret-sur-le-depart/ [consulté le 15 avril 2021]

37. Les fruitières qui marquent le paysage rural jurassien et alpin sont des coopératives dont les producteurs laitiers sont les coopérateurs, et le fromager le salarié.

38. Devenu Centre technique des fromages comtois (CTFC) en 2007.

39. Sur la notion de typicité, voir Casabianca *et al.*, 2011.

40. Entretien Jean-Jacques Bret, février 2021. Voir également Bret, 2021.

41. Il s'agissait là d'un arrangement entre la filière Comté et l'INRA, pour obtenir le maintien d'un centre de recherches implanté dans le territoire jurassien.

42. Voir également la synthèse plus grand public des travaux menés à l'INRA Poligny sur ce thème dans Buchin et Grappin, 2000.

43. Témoignage de Guy Pernodet (professeur de technologie fromagère à l'ENIL de Poligny) et de Eric Beuvier, dans le compte-rendu de la table-ronde « Lactofermentation », lors des « Journées de réflexion sur l'AOC ». Pontarlier 21 septembre 2000, Archives Antoine Bérodier.

44. Ce à quoi s'était appliqué un projet de recherche visant à tester les relations entre les résultats du test de lactofermentation et la typicité des fromages affinés (Bérodier *et al.*, 2001).

45. Point qu'esquisse l'un des techniciens intervenants à la table ronde : « on trouve des tests gélifiés dans les fermes où le trempage du trayon n'est pas systématique ».

46. Structure créée en 1993, pour améliorer la qualité, la typicité et la valorisation des AOC de la région, en interaction avec le laboratoire Productions fromagères de l'INRA d'Aurillac (Cornu *et al.*, 2018, p. 212)

47. Entretien avec Pierre Parguel, février 2021.

48. Micheline Guéguen, enseignante-chercheuse en microbiologie à l'Université de Caen et connue pour ses travaux sur la microbiodiversité présente dans le Camembert, et Nathalie Desmasures qu'elle a formé en thèse.

49. Compte-rendu de la réunion du 15 novembre 2004.

50. Compte-rendu de la réunion du 27 octobre 2005.

51. Intitulées : « Les bases de la microbiologie du lait » (coord. E. Beuvier et F. Feutry) ; « Évolution de la flore des laits aux fromages » (coord. A. Bérodier) ; « Comment peut-on agir sur la flore des laits ? » (coord. V. Michel) ; « Faut-il privilégier la quantité ou la nature de la flore du lait ? » (coord. Y. Bouton) ; « Fiches pratiques de procédures de prélèvement de microflores 1. Prélèvement des flores dans la machine à traire ; 2. Prélèvement des flores de surface des trayons » (deux autres étaient prévues sur le prélèvement des flores d'ambiance, et le prélèvement sur le bois) (coord. V. Michel et C. Laithier) ; « Comment préserver une flore utile sans affecter la qualité sanitaire des laits » (coord. P. Parguel). En ligne sur http://www.rmtfromagesdeterroirs.com/realisations/ [consultées le 15 janvier 2021].

52. Compte-rendu de la réunion du 8 décembre 2003.

53. Compte-rendu de la réunion du 32 juin 2003.

54. Après une rencontre inaugurale en mai 2004 à Malbuisson dans le Doubs, les Journées d'échanges Techniciens-Chercheurs « Autour de la Flore microbienne du Lait Cru » ont successivement pour objet « Maintenir la flore native du lait tout en assurant une maîtrise des staphylocoques » (2006), « Connaître et maîtriser les flores microbiennes pour des fromages 'typiques' » (2008), « Les flux microbiens, de la ferme au fromage affiné » (2010), « Intervenir en production du lait pour le maintien d'équilibres microbiens favorables à l'expression de la typicité » (2012).

55. « Pour la flore utile, une réflexion préalable doit permettre d'identifier des indicateurs positifs de flore, soit par des tests globaux (type lactofermentation), soit par des mesures de flores sur milieu adapté (davantage favorable aux flores d'affinage par exemple), soit encore par des mesures d'équilibres (calcul du rapport entre flores). » Synthèse des échanges techniciens d'élevage et chercheurs de la journée du 11 mai 2006 aux Aillons.

56. Synthèse des échanges techniciens d'élevage et chercheurs à Laguiole 14-16 mai 2008.

57. « Accompagner les producteurs de lait engagés dans des filières sous signe de qualité et d'origine pour gérer la flore microbienne des laits crus ». Le programme associait des structures représentant des filières fromagères à différentes unités de recherche (INRA, établissements d'enseignement supérieur en agronomie). http://www.rmtfromagesdeterroirs.com/actions-1/ecosystemes-microbiens/casdar-floracq. La démarche est synthétisée dans un classeur à destination des conseillers, duquel sont extraits de nombreux éléments cités dans cet article (Monsallier, 2014).

58. Le CASDAR, pour Compte d'Affectation Spéciale pour le Développement Agricole et Rural, est un budget dédié à financer des recherches appliquées pour l'agriculture et l'élevage, géré par le Ministère en charge de l'agriculture.

59. La création de la méthode de conseil des producteurs implique dix entreprises de collecte et transformation au sein de six « filières tests » sous AOP (Cantal, Laguiole, Comté – Morbier, Beaufort, Pélardon, Ossau-Iraty), et mobilise des personnes « référentes » au sein de structures de soutien technique aux éleveurs sur les territoires couverts par chacune de ces appellations (Chambres d'Agriculture du Cantal et de l'Aveyron, Centre Technique des Fromages Comtois, Ceraq, Languedoc Roussillon Élevage, CFDAA 64) (Monsallier *et al.*, 2016).

60. La première coopérative compte 45 producteurs et produit 1000 t de fromages. Elle s'est engagée une première fois dans la démarche FlorAcQ à la fin des années 2000, quelques années après sa création par fusion de plusieurs coopératives – des éleveurs dont le lait était auparavant pasteurisé avaient alors commencé à livrer du lait transformé en fromage au lait cru. La deuxième coopérative compte 29 producteurs et produit 700 t de fromages. Elle s'est engagée dans la démarche en 2019, en parallèle de la réalisation d'un nouvel atelier destiné à la fabrication au lait cru.

61. Dans une ferme, les germes totaux « font le yoyo », ce qui complique la gestion du lait pour le fromager de la coopérative, explique la conseillère.

62. À savoir : bactéries d'affinage, bactéries lactiques mésophiles, levures, moisissures, bactéries à gram négatif. (Monsallier *et al.*, 2016). Selon une des publications issues des travaux menés par des microbiologistes du programme, il n'existait pas avant le programme FlorAcQ de milieux de culture permettant de dénombrer spécifiquement ces flores qualifiées de « positives » (Gemelas *et al.*, 2013).

63. Antoine Bérodier, fort de son expérience de technicien fromager, justifie : « *(...) le milieu de culture [des boites de Pétri] est sélectif sur un type de bactéries, (...) c'est des bactéries qui sont capables de se multiplier sur ce milieu-là. Qu'est-ce qu'elles font sur du lait ou sur du fromage, on n'en sait rien.... Et y'a vraiment que les bactéries qui sont vraiment en bonne forme qui arrivent à se développer... je trouve que c'est un peu trop simpliste pour une approche du lait* » (entretien février 2021).

64. Dans la première coopérative, l'accompagnement s'est concrétisé par l'adoption par les éleveurs de la « laine de bois », pelote de filaments de bois qui permet d'ôter les salissures sans désinfecter la mamelle, préservant ainsi la microflore des trayons.

65. Le microbisme désigne l'ensemble de la flore microbienne présente dans un milieu.

66. Une entreprise de transformation conditionne même depuis début 2020 la prime « lait cru » à l'utilisation de produits d'hygiène de traite. Si les éleveurs rencontrés dans cette étude ne sont pas soumis à ces contraintes, ils n'ignorent pas les conditions de paiement des éleveurs de la zone qui livrent à ces grosses entreprises.

67. Ces catégories du vivant étant dotées d'agentivités différentes – pour simplifier, les souches sont pensées idéalement comme stables, les communautés microbiennes sont pensées comme dynamiques –, un prolongement de cette recherche serait de travailler plus finement sur les formes de relation qu'elles engagent, en s'appuyant sur les propositions de Carole Ferret pour une anthropologie de l'action (Ferret, 2012).

68. Le coût pour établir l'indice relatif d'un lait (environ 80 € par analyse) est souvent invoqué comme un frein à sa généralisation.

69. L'idée a par exemple été proposée d'une bandelette à tremper dans le lait.

70. L'expression est utilisée par Eric Beuvier, alors directeur de l'INRA Poligny, lors de la table ronde Lactofermentation de 2000.

RÉSUMÉS

Au cours du XXe siècle en France, les transformations techniques et réglementaires dans la production laitière (dont la loi Godefroy instaurant le nombre de germes totaux/ml comme un indicateur négatif de la qualité du lait) ont contribué à une diminution significative de la charge microbienne des laits. Dans les années 1990, ces laits dits « paucimicrobiens » se révèlent être un problème dans la production fromagère au lait cru. L'article suit une communauté épistémique proche des filières sous appellation d'origine, qui développe un regard nouveau sur les « flores des laits ». Ses membres partagent l'idée que les microorganismes sont ubiquistes dans l'environnement et qu'il reste possible, malgré les irréversibilités causées par la modernisation agricole, d'enrichir la microflore native des laits grâce à des pratiques d'« écologie microbienne dirigée ». Leur engagement savant se prolonge par un accompagnement des producteurs laitiers vers des pratiques attentives aux écosystèmes microbiens. La construction d'indicateurs et représentations des microorganismes concurrençant la simple métrique des germes totaux/ml y trouve une place centrale.

During the 20th century in France, technical and legal transformations in the process of milk production (including the establishment of the amount of microorganism per ml as a negative indicator in quality-based milk payment) contributed to a significant decrease in milk microbial load. During the 1990s, these low-microbe milks came out to be a problem in raw-milk cheese production. The article gives a detailed account of the work of an epistemic community close to sector under denomination of origin, that is working on a new way of understanding "milk floras". Its members share the idea that microorganisms are ubiquitous in the environment, and that it is still possible, in spite of the irrevocable changes brought about by agricultural modernization, to nurture milk native microflora by encouraging "directed microbial ecology" practices. Their epistemic commitment translates into action research for dairy farmers to develop microbial-ecosystem-friendly practices. At the heart of this research lies the will to produce new indicators and representations of microorganisms to go beyond the standard practice imposing a simplistic metric count of total microorganisms per ml.

Durante el siglo XX en Francia, los cambios técnicos y normativos en la producción de leche (incluida la ley Godefroy que establecía el número de gérmenes totales/ml como indicador negativo de la calidad de la leche) contribuyeron a una importante disminución de la carga microbiana de la leche. En los años 90, estas leches llamadas «paucimicrobianas» resultaron ser un problema en la producción de queso de leche cruda. El artículo sigue a una comunidad epistémica cercana a los sectores con denominación de origen, que está desarrollando una nueva mirada sobre la «flora de las leches». Sus miembros comparten la idea de que los microorganismos son omnipresentes en el medio ambiente y que todavía es posible, a pesar de las irreversibilidades causadas por la modernización agrícola, enriquecer la microflora nativa de la leche mediante prácticas de «ecología microbiana dirigida». Su compromiso académico se extiende al acompañar a los productores de leche hacia prácticas atentas a los ecosistemas microbianos. La construcción de indicadores y representaciones de los microorganismos que compiten con la simple métrica del total de gérmenes/ml es fundamental para ello.

INDEX

Keywords : microbe, ecological indicator, metrology, microbiodiversity, microbial ecology, cheese production, Paxson (Heather), epistemic community
Mots-clés : microbe, indicateur écologique, métrologie, microbiodiversité, écologie microbienne, production fromagère, Paxson (Heather), communauté épistémique
Palabras claves : microbio, indicador ecológico, metrología, microbiodiversidad, ecología microbiana, producción de queso, Paxson (Heather), comunidad epistémica

AUTEURS

ÉLISE DEMEULENAERE

Chargée de recherche au CNRS, elle travaille sur les mutations contemporaines des rapports au vivant en agriculture, au croisement entre anthropologie environnementale et études des sciences.
https://orcid.org/0000-0001-6467-2488

Adresse : Centre Alexandre-Koyré (CNRS-EHESS-MNHN), Campus Condorcet / EHESS, 2 cours des Humanités, FR-93322 Aubervilliers cedex (France)
Courriel : elise.demeulenaere[at]cnrs.fr

MATHILDE LAGROLA

Doctorante à l'Université Paul Valéry Montpellier 3, elle réalise une thèse en ethnologie sur la surveillance de la sécurité sanitaire dans la production fromagère au lait cru en France, à travers une ethnographie des pratiques des producteurs de lait et de fromages et des contrôles sanitaires.
https://orcid.org/0000-0003-4205-9847

Adresse : AgroParisTech, UMR SENS (IRD/CIRAD/Université Paul Valéry Montpellier 3, Université Montpellier), Route de Mende, FR-34199 Montpellier Cedex 5 (France).
Courriel : mathilde.lagrola[at]gmail.com