



Ferments d'affinage à INRAE d'Aurillac

Ecologie microbienne des fromages au lait cru

Février 2023

Rédacteurs

Christophe Chassard

Christophe Nguyen The

HAL-03948251

Etude de cas réalisée par le département MICA selon la méthode ASIRPA (Analyse de l'impact sociétal de la recherche) mise au point par INRAE.

Résumé

L'Unité Mixte de Recherche sur le Fromage (UMRF) d'Aurillac mène des recherches sur la microbiologie et la technologie des fromages du Massif Central avec pour objectifs la compréhension des processus de fabrication et d'affinage des fromages et la recherche de solutions microbiennes et technologiques pour l'amélioration de leurs qualités. Leurs recherches ont ainsi contribué au maintien des prairies naturelles du Massif Central, au développement de l'activité économique, la création d'emplois et la reconnaissance internationale des fromages au lait cru.

The INRAE of Aurillac carries out research on the microbiology and technology of cheeses from the Massif Central with the aim of understanding the manufacturing and ripening processes of cheeses and the search for microbial and technological solutions to improve their qualities. Their research has thus contributed to the maintenance of the natural meadows of the Massif Central, the development of economic activity, the creation of jobs and the international recognition of raw milk cheeses.

Problématique sociétale initiale et contexte externe initial

Importance économique des ferments pour l'agro-alimentaire

De nombreux aliments résultent de la transformation de matières premières par des microorganismes, communément dénommés « ferments ». Citons les fromages, beurre et yaourt pour les matières premières laitières, certaines salaisons pour la viande, des produits à base de légumes (choucroute par exemple), fruits (certaines olives) ou grains (tempeh) pour les matières premières végétales. Les ferments ont une grande importance socioéconomique pour notre pays. Par exemple, les aliments qui nécessitent l'utilisation de ferments représentent un tiers du chiffre d'affaires à l'export du secteur alimentaire français (Amendement Lebec, 2018). En particulier, les fromages, issus de la fermentation du lait, sont un des piliers de l'économie des régions de moyenne montagne.

Evolutions économiques des filières fromages dans le Massif Central

Dans les années 1960s, au début du développement des nouveaux modes de distribution des produits alimentaires, notamment les GMS, les fromages du Massif Central souffraient d'irrégularités dans leur qualité. Les entreprises fromagères devaient en outre augmenter la capacité de leurs productions en modernisant leurs équipements, ce qui n'allait pas sans difficulté et avait parfois des conséquences néfastes sur la qualité des fromages. Les filières faisaient face à un important défi de fiabilité.

Les ferments d'affinage, éléments clés de l'aspect et du goût des fromages étaient le plus souvent produits de façon empirique par les entreprises fromagères, avec un manque de maîtrise des micro-organismes (ferments) appliqués et des conditions d'affinage. Pour certaines appellations, des ferments étaient produits de façon plus rigoureuse par quelques entreprises fromagères de plus grande envergure mais sans que cela ne profite à l'ensemble de la profession. Certains ferments étaient aussi achetés à des entreprises étrangères, ce qui faisait peser une menace sur la souveraineté de la fabrication des fromages du Massif Central, et ne permettait pas une production de micro-organismes adaptés à leurs besoins.

La production fromagère est devenue un élément essentiel de l'économie du Massif Central, avec une spécialisation vers une production de qualité misant sur la typicité de productions de terroirs, en grande partie sous labels d'origine géographique (Le Gall 2021). Ces filières sont basées sur des

élevages en dominance à l'herbe, conduisant à une prépondérance de prairies naturelles dans plusieurs territoires. La production de fromage est assurée par une diversité des structures, comprenant de grands groupes laitiers, des grosses et petites PME ainsi que des fabricants de fromages à la ferme.

La maîtrise de la qualité des fromages était donc un enjeu majeur pour l'économie du Massif Central et les solutions devaient s'adresser à des acteurs de tailles très diverses.

Importance du lait cru pour les filières AOP du Massif Central.

Le lait cru représente une part importante du lait transformé par les filières AOP du Massif Central. Par exemple, environ 40% du lait utilisé par une grosse entreprise du Massif Central selon son ancien directeur technique, qui précise « *le lait cru permet de s'inscrire dans des produits filières avec les GMS (Grandes et Moyennes surfaces), qui amènent une plus-value à l'entreprise et au producteur de lait. D'où l'intérêt de faire avancer la problématique lait cru avec INRAE. C'est sensible mais source de plus-value.* ».

Selon le président du Pôle Fromager, basé à Aurillac, la production de fromage fermier est suffisamment rémunératrice pour permettre à un jeune de s'installer et de faire face au coût du capital à investir, même hors d'une transmission familiale. Les cahiers des charges pour la production de fromages fermiers imposent l'usage du lait cru, et toujours selon le président du pôle, la production fermière hors du lait cru n'aurait plus aucun intérêt pour le consommateur, car il s'agit de lui faire bénéficier de toute la diversité microbienne des produits.

La crise des listérioses et l'augmentation des exigences sanitaires.

En 1982, une épidémie à *Listeria monocytogenes* provoque 17 décès et l'enquête épidémiologique apporte la preuve qu'elle est d'origine alimentaire. Cette première épidémie, causée par des produits végétaux, est rapidement suivie d'une autre ayant pour origine un fromage, le vacherin Suisse, contaminé par la même bactérie. Le développement de méthodes de recherche de *L. monocytogenes* dans les aliments et leur mise en œuvre rapide révèle sa présence dans de nombreux aliments, notamment d'une large gamme de fromages. Les fabricants ont alors une obligation d'éliminer la bactérie de leurs produits, tâche d'autant plus difficile pour les fromages au lait cru qui ne bénéficient pas de la pasteurisation pour assainir le lait destiné à la fabrication. En parallèle, l'évolution des connaissances montre qu'il est possible d'accepter un certain niveau maximal de contamination des aliments par *L. monocytogenes* (fixé à 100 *L. monocytogenes* par gramme d'aliment à la consommation), sans faire courir un risque inacceptable au consommateur (à l'exception de populations à risques comme les femmes enceintes). Les objectifs des fabricants de fromages devinrent donc doubles, d'une part réduire le plus possible ou éliminer la contamination des fromages par *L. monocytogenes*, d'autre part rechercher si en cas de présence de la bactérie dans le fromage, celle-ci pourrait se multiplier et dépasser le seuil maximal toléré.

Outre *L. monocytogenes*, le début des années 1980s correspond aux premières épidémies causées par des *Escherichia coli* productrices de toxines particulières, dénommées STEC (pour Shiga Toxine *Escherichia coli*) capables de provoquer des maladies graves, mortelles ou invalidantes, notamment chez les jeunes enfants. Associées aux ruminants, les premières épidémies à STEC étaient liées à des hamburgers ou des steaks hachés, mais le lait cru et des fromages au lait cru ont aussi rapidement été identifiés comme pouvant être porteurs de STEC. Très infectieuses, les STEC « épidémiques » ne bénéficient d'aucune tolérance dans les aliments, ce qui renforce les exigences sanitaires pesant sur les fabricants de fromages.

Enfin, la réglementation européenne 2073/2005 introduit un critère d'absence de *Salmonella* pour les fromages au lait non pasteurisé et l'absence de toxine de *Staphylococcus aureus* pour les fromages.

Une large part de la production fromagère du Massif Central étant au lait cru, l'enjeu sanitaire revêt une importance particulière.

Un enjeu transversal, la biodiversité microbienne des laits crus et des fromages au lait cru.

L'importance de la biodiversité microbienne des laits crus et des fromages qui en sont issus s'est progressivement imposée comme un enjeu majeur autant comme barrière potentielle à l'installation des bactéries pathogènes, que comme levier pour développer une typicité « terroir » des fromages fermiers. Certains de nos interlocuteurs ont ainsi souligné l'ambition des producteurs fermiers de transmettre aux consommateurs, avec leurs fromages, les richesses microbiennes de leur terroir. Caractériser la biodiversité microbienne, comprendre ses origines, développer des pratiques préservant sa richesse et mieux la valoriser, sont devenus des enjeux majeurs pour la profession et la communauté scientifique.

Comment le laboratoire de recherche fromagères d'Aurillac a répondu à ces trois enjeux, maîtrise de la qualité sensorielle, maîtrise de la sécurité sanitaire et maîtrise de la biodiversité microbienne est présenté dans le présent rapport.

Inputs et contributions

Création du site INRA d'Aurillac – Des liens étroits avec la profession fromagère

Le Laboratoire de recherches fromagères INRA a été créé à Aurillac en 1973 avec pour objectif le soutien aux filières fromagères du Massif Central. Dès sa création, le laboratoire met en place des conventions de financement avec les filières sous la forme de cotisations proportionnelles aux tonnages vendus. Les filières contribuent aussi aux recherches en embauchant des chercheurs qui sont hébergés dans les locaux de l'INRA d'Aurillac. Le laboratoire présente régulièrement ses résultats aux filières dans le cadre d'un conseil scientifique. L'INRA d'Aurillac mène alors des recherches sur la microbiologie et la technologie des fromages du Massif Central avec pour objectifs la compréhension des processus de fabrication et d'affinage, ainsi que la recherche de solutions microbiennes et technologiques pour l'amélioration de leur qualité. Par exemple, pour résoudre des difficultés de formation de la croûte des fromages, le laboratoire de recherches fromagères recherche des ferments et des technologies de fabrication adaptées.

Les filières de fromages AOP du Massif Central se regroupent dans le Pôle Fromager, créé en 1993 pour mieux identifier leurs besoins de recherche, coordonner leurs actions et mieux diffuser les résultats. Le Pôle prend notamment en charge les salaires de deux personnes payées à l'origine par l'INRA pour des activités de transfert, afin de permettre au laboratoire d'Aurillac de se concentrer sur la recherche. En 2008 le Pôle est hébergé dans le nouveau bâtiment de l'INRA d'Aurillac.

La croûte des fromages

La croûte participe aux arômes du fromage, à sa capacité à s'affiner dans la durée et à son aspect visuel. La formation de la croûte est un processus délicat qui peut souffrir d'irrégularités entraînant des défauts de qualité des produits. Dans les années 1970s il n'existait pas de solutions microbiologiques assurant une formation fiable de la croûte des fromages du Massif Central.

Le Pôle Fromager

Le Pôle Fromager AOP Massif Central est une association loi 1901 créée en 1993, basée à Aurillac. Il regroupe des représentants des syndicats des fromages AOP, des producteurs, des transformateurs et affineurs, des organisations professionnelles agricoles, des collectivités territoriales, des organisations scientifiques, techniques et d'enseignement. Il a pour objectif d'assurer un lien entre la recherche et les filières fromagères AOP du Massif Central pour une meilleure maîtrise de la qualité, fournir des éléments pour la promotion et la défense des fromages AOP, expliquer les fondements de la typicité, accompagner le développement des filières et l'évolution de leurs cahiers des charges.

Valorisation des collections de ferments de l'INRA d'Aurillac. Création du LIP Laboratoire Interprofessionnel de Production

Le LIP est créé le 20 septembre 1983 à l'INRA de Marcenat, avec à l'origine les AOP Cantal, St-Nectaire, Salers, Bleu d'Auvergne, Fourmes d'Ambert et de Montbrison, rejointes plus tard par l'AOP Roquefort. L'INRA d'Aurillac a été moteur dans la création du LIP, afin de développer la diffusion et la valorisation auprès des entreprises fromagères du Massif Central de sa collection de ferments d'affinage qu'elle licencie au LIP. Les premières années, les trois salariés du LIP sont hébergés dans les locaux de l'INRA d'Aurillac. En 1989 le LIP construit son propre bâtiment, à 20 m du laboratoire de recherches fromagères d'Aurillac, sur un terrain du lycée agricole. La recherche sur les ferments s'est poursuivie au sein du laboratoire en lien avec le LIP par le biais de contrats de recherches.

A son origine, le LIP est un Groupement d'Intérêt Economique (GIE), dont les membres sont les AOP des fromages du Massif Central, et la présidence assurée par le directeur du laboratoire de recherches fromagères de l'INRA.

Création d'une plateforme technologique fromagère L2 à Aurillac permettant de manipuler des bactéries pathogènes

En 1989 une plateforme technologique de fabrication de fromages est installée au laboratoire de recherches fromagères d'Aurillac, puis rapidement agrandie à 90 m² en 1992 avec l'aide du conseil régional. Cette plateforme permet la fabrication d'une large gamme de fromages, et de travailler à différentes échelles. Elle peut produire un grand nombre de fromages de petites tailles pour, par exemple comparer l'efficacité d'un grand nombre de souches, ou au contraire tester sur des fromages de grande taille, en conditions très proches de la réalité, l'efficacité de ferments ou de mettre au point des technologies fromagères. Pour cela, le laboratoire de recherches fromagères conçoit avec des équipementiers des dispositifs de technologie fromagère de taille réduite, adaptés à l'échelle des études expérimentales conduites sur la plateforme, mais permettant néanmoins de reproduire les conditions des entreprises fromagères.

A partir de 1996, le site INRA d'Aurillac s'investit, en collaboration avec la DSV (Direction Départementale des services Vétérinaires et le Laboratoire Interprofessionnel d'Analyse Laitière (LIAL), dans des recherches destinées à mieux connaître et maîtriser le risque de *L. monocytogenes* dans les fromages au lait cru du Massif Central. Les projets sont soutenus tout d'abord par le syndicat du Saint-Nectaire et le CIF (Comité Interprofessionnel du Fromage), puis par l'ensemble des AOP fromagères du Massif Central. En réponse à ces besoins pressants de recherches sur la sécurité sanitaire des fromages, le laboratoire de recherches fromagères adapte 35 m² de sa plateforme technologique pour qu'elle réponde aux normes de confinement L2, mais la demande est telle qu'il doit mettre en place une extension sous la forme d'un conteneur maritime.

En 2008, un nouveau bâtiment est inauguré et inclus une plateforme technologique fromagère avec un niveau de confinement L2. Cette nouvelle plateforme permet de conduire à la fois des études sur la qualité des fromages et sur leur sécurité sanitaire.

Extension de la diffusion des ferments développés à Aurillac. Transformation du LIP en SAS

En 2000 le LIP passe du statut de GIE à celui de SAS. Les membres de l'ancien GIE deviennent des associés. L'évolution du LIP permet l'arrivée de nouveaux producteurs de fromages qui entrent dans la structure en tant qu'actionnaires, et de diffuser ses ferments (dont à la date du présent rapport, la collection d'origine INRA en constitue encore 68%) au-delà des membres historiques du GIE.

En 2009 le LIP crée sa propre cellule de recherche, avec à l'origine le recrutement d'un chercheur hébergé transitoirement dans les locaux de l'INRA d'Aurillac, puis son renforcement par un deuxième recrutement. Les recherches portent sur de nouveaux ferments pour faire évoluer les arômes des fromages, et en perspectives sur les ferments lactiques. Ces activités font l'objet de conventions de recherches avec l'INRA d'Aurillac.

Recherche sur les ferments de biopréservation. Création par Lallemand d'une division sur les ferments destinés aux aliments

Le laboratoire de recherches fromagères met en place des programmes de recherche sur des microorganismes antagonistes des bactéries pathogènes, pouvant être utilisés dans des stratégies de biopréservation (ou bioprotection) des fromages. C'est par exemple l'objectif du projet FUI BLASTEC (2011-2014) qui recherchait des microorganismes antagonistes des STEC à toutes les étapes de la filière, de l'élevage laitier à la fabrication des fromages. BLASTEC réunit pour INRA le laboratoire d'Aurillac et l'UMR MEDIS de Theix, VetAgro Sup, le groupe laitier 3A et le producteur de ferments Lallemand.

En 2015 l'entreprise Lallemand crée une nouvelle division « Lallemand Speciality Culture » (LSC) dédiée aux ferments pour l'alimentaire, notamment les produits laitiers, avec une unité de production à Aurillac. Les ferments de biopréservation, destinés à lutter contre des micro-organismes pathogènes ou d'altération dans les aliments, sont un créneau majeur pour LSC.

LSC conduit des études en collaboration avec INRA d'Aurillac sur la recherche de nouveaux ferments de biopréservation, l'étude de leur mécanismes d'action et la validation de leurs activités. La plateforme fromagère L2 d'INRA d'Aurillac est un atout majeur dans ces collaborations car il s'agit pour LSC d'un équipement unique en Europe, et dont l'équivalent n'existe sans doute pas, selon LSC, en Amérique du Nord.

Développement de recherches sur la biodiversité microbienne des fromages au lait cru

INRA d'Aurillac a entamé la caractérisation de la biodiversité des laits crus et des fromages au lait cru dès les années 90s. Les recherches se sont amplifiées et se poursuivent actuellement par l'étude des flux de microorganismes sur la filière, de l'herbe au fromage et par la mise en place de projets de grande ampleur en métagénomique des fromages au lait cru.

Tableau récapitulatif des 5 partenaires majeurs

NOM PARTENAIRE ASSOCIE AUX RECHERCHES (5 maximum)	TYPE (académique, privé, instance publique, institut technique)	CONNAISSANCES APORTEES disciplines, compétences spécifiques	MOYENS APPORTÉS. (financiers, infrastructures...)	A PARTICIPE DEPUIS LE DEBUT DES RECHERCHES?
LIP	PRIVÉ	PRODUCTION INDUSTRIEL DE FERMENTS D’AFFINAGE, CONNAISSANCE DES CLIENTS, ACTIVITE R&D	FINANCIERS, PARTENAIRES DE PROJETS	DEPUIS 1983
LALLEMAND	PRIVE	PRODUCTION INDUSTRIEL DE FERMENTS DE BIOPRESERVATION, CONNAISSANCE DES CLIENTS, ACTIVITE R&D	FINANCIERS, PARTENAIRES DE PROJETS	DEPUIS 2010
DDPP DU CANTAL (A L’EPOQUE DSV)	INSTANCE PUBLIQUE	QUALITÉ SANITAIRE DES ALIMENTS	COMPETENCES, RESEAU	DE 1996 AU DEBUT DES ANNEES 2000
ORGANISMES DE DEFENSE ET DE GESTION (ODG) DES FROMAGES AOP D’AUVERGNE ET DU MASSIF CENTRAL	ORGANISATION INTERPROFESSIONNELLE	CHAQUE ODG PILOTE LA R&D POUR SA FILIERE FROMAGERES	FINANCEMENTS, APPUIS TECHNIQUES, QUESTIONS DE RECHERCHE	DEPUIS LA CREATION D’INRAE AURILLAC
POLE FROMAGER AOP MASSIF CENTRAL	ASSOCIATION PROFESSIONNELLE	REGROUPE LES FILIERES FROMAGERES AOP DU MASSIF CENTRAL ET FEDERE LEUR R&D		DEPUIS 1993

Outputs des recherches

Ferments et technologie fromagère

A partir de 1973, INRA d'Aurillac identifie des souches de ferments d'affinage des AOP du Massif Central et les conditions de leur mise en œuvre dans la fabrication des fromages, grâce notamment à sa plateforme technologique fromagère. A la fin des années 70s début des années 80s ces ferments sont rassemblés sous la forme d'une collection représentant à l'époque environ une centaine de souches caractérisées (champignons et levures principalement), et sont mis à la disposition des entreprises fromagères, au début directement par INRA, puis par l'intermédiaire du LIP à sa création en 1983.

INRA d'Aurillac a mis au point une méthode simple et peu coûteuse, de conservation, de multiplication et de mise en œuvre des ferments en vue de leur diffusion chez les utilisateurs. Cette méthode évite le recours à la lyophilisation, technique coûteuse en énergie.

Les recherches sur les ferments d'affinage se sont poursuivies. Par exemple en 1997 un programme de recherche conjoint INRA et LIP a permis l'identification d'une nouvelle souche bactérienne très efficace pour le croûtage des fromages de raclette. Plus récemment dans les années 2000s INRAE et le LIP ont identifié une gamme de levures conférant de nouvelles propriétés aromatiques au fromages.

INRAE d'Aurillac a tiré profit de ses collections de ferments pour conduire des études sur la biodiversité des espèces d'intérêt. Par exemple une collaboration INRAE d'Aurillac, LIP et CNRS a révélé la très forte diversité génétique des *Penicillium roqueforti* de l'AOP Roquefort, sans doute préservée par la dispersion de la production des ferments entre les différentes caves. Le projet a aussi mis au point une méthode de recombinaison non OGM entre souches, ouvrant la voie à une exploitation de la biodiversité pour générer des souches de *P. roqueforti* porteuses de nouvelles propriétés.

Grâce à sa plateforme technologique, INRAE d'Aurillac identifie des modalités de fabrication des fromages, en lien avec la mise en œuvre des ferments, permettant un affinage optimal. Par exemple, dans les années 1990s, INRA d'Aurillac a identifié l'origine des difficultés du croûtage du fromage de Cantal. INRAE a conduit une étude historique sur les presses manuelles utilisées auparavant en Cantal (issue du moulage d'une presse Suisse) et réalisé une chaîne de mesure électronique pour mesurer la pression appliquée aux fromages dans chaque atelier. Il a ainsi été mis en évidence que les nouvelles presses pneumatiques pressaient beaucoup plus fort que les anciennes presses manuelles. En collaboration avec INRAE de Rennes, INRAE d'Aurillac a démontré qu'une pression excessive provoquait l'éclatement des globules gras, leur oxydation et la formation de composés toxiques pour les ferments d'affinages en surface, aboutissant ainsi à une mauvaise formation de la croûte des fromages. Les valeurs de pression à appliquer en fonction des formats des fromages ont été déterminées dans la plateforme fromagère d'INRAE d'Aurillac, afin d'établir des Abaques destinées aux entreprises fromagères. Entre 1997 et 2001 INRA a poursuivi l'étude par des vérifications des pressions sur les sites de production, au début pour la filière Cantal puis pour d'autres AOP.

Grace à sa plateforme fromagère INRA d'Aurillac, depuis 2015, a aussi mis au point, ou a participé à la mise au point avec ses partenaires, de nouvelles technologies fromagères, de nouveaux types de fromages (Chazal, 2022) et plus récemment en 2019 de nouveaux produits fermentés et affinés à base de végétaux.

Sécurité des aliments et biopréservation

Fin 1996, suite au signalement de la profession, INRAE d'Aurillac oriente ses recherches sur l'étude de *L. monocytogenes* dans les filières fromages du Massif Central. Cela correspondait en outre à la politique scientifique de l'Institut visant à renforcer les recherches sur les microorganismes pathogènes d'origine alimentaire. Le laboratoire adapte sa plateforme technologique pour obtenir un niveau de confinement approprié, et à partir de fromages artificiellement contaminés (procédure dénommée communément « Challenge test »), démontre que pour certains types de fromages, la population de *L. monocytogenes* décroît durant l'affinage et s'éteint après une certaine durée qui peut correspondre, suivant les AOP, à l'affinage minimal obligatoire, ou à l'affinage correspondant à certaines catégories de qualité. Pour s'assurer de la pertinence de ses résultats par rapport aux conditions commerciales, INRAE d'Aurillac a dû confectionner des fromages de grande taille et vérifier que le comportement des bactéries pathogènes artificiellement introduites lors de la fabrication était similaire à celui de bactéries pathogènes naturellement présentes dans le lait. INRAE s'est aussi appuyé sur une collection de souches de *L. monocytogenes* isolées de lait et conservées par le laboratoire interprofessionnel d'analyse laitière (LIAL).

En complément, des études sur la contamination en amont des laits en élevage et des fromages lors de la fabrication ont été entreprises en collaboration avec la Direction Départementale de Protection des Populations¹ (DDPP). Une relation entre contamination des laits par *L. monocytogenes* et âge des vaches a été mise en évidence, et des recommandations émises pour les pratiques d'hygiène sur toute la filière, en élevage, à la traite et à la fabrication des fromages. Par exemple les études intégrant les aspects de sécurité sanitaire et qualité de la production ont montré l'inconvénient du recours trop fréquent à la désinfection des ateliers par le chlore qui favorisait l'installation d'une bactérie d'altération des fromages. En outre, INRAE a eu un rôle important de conseil pour les producteurs fermiers pour qui le concept de « salle blanche » était une révolution.

Début 2000 INRAE d'Aurillac a été sollicité pour étudier l'impact de l'utilisation, dans l'AOP Salers, de la gerle (cuve en bois de châtaigner dans laquelle se forme un biofilm microbien qui réensemence le lait à chaque nouvelle fabrication), sur la qualité microbiologique et sanitaire du fromage. En collaboration avec un laboratoire de INRAE de Bordeaux spécialiste de l'analyse des bois des tonneaux, INRAE d'Aurillac a mis au point une méthode pour déterminer si une gerle était bienensemencée par un biofilm microbien pouvant faire barrière à l'installation de bactéries pathogènes. Le projet a aussi montré la relation entre le volume de la gerle et le risque vis-à-vis des bactéries pathogènes. Au-delà de 240 litres le rapport surface / volume diminuant, les transferts du biofilm de la gerle vers le lait étaient moins rapides, avec un ensemencement du lait moins efficace et une moindre capacité protectrice contre les bactéries pathogènes.

Tout récemment, dans le projet Amont Saint-Nectaire (2016-2019) coordonné par le Pôle Fromager, INRAE d'Aurillac et ses partenaires (l'ODG Saint-Nectaire et 3 autres unités INRAE) ont d'identifié une trop forte charge en bovins à l'hectare comme principal facteur de risque de contamination des fromages par les salmonelles.

A partir des années 2010 les recherches conduites par INRAE d'Aurillac sur des microorganismes antagonistes de bactéries pathogènes ont mis en évidence des consortia (ensemble de souches et d'espèces microbiennes associées) possédant des activités intéressantes contre les STEC (résultats du projet BLASTE par exemple) et les salmonelles. L'espèce *Hafnia alvei* est ressortie comme une composante majeure des consortia actifs contre les STEC. Par exemple, une réduction d'environ 400 fois de la population des STEC avait été obtenues dans certains fromage avec une souche d'*H. alvei*. Les études ont été poursuivies, notamment en collaboration avec la division LSC de Lallemand, sur la recherche des mécanismes expliquant les propriétés antagonistes d'*H. alvei* contre les bactéries pathogènes, la constitution d'une collection de souches d'*H. alvei* et la recherche et/ou la validation

¹ A l'époque Direction des Services Vétérinaires (DSV)

de l'effet antagoniste d'autres espèces bactériennes dans les fromages. La plateforme fromagère en confinement L2 d'INRAE d'Aurillac a joué un rôle fondamental dans ces recherches en offrant la possibilité d'étudier et valider les effets antagonistes contre des pathogènes, dans des fromages fabriqués et affinés dans des conditions très proches de la réalité.

Biodiversité microbienne des laits et fromages au lait cru.

INRAE d'Aurillac a développé des méthodologie et acquis des connaissances sur la composition du microbiote des laits crus et des fromages, sur les flux microbiens et l'influence des différentes pratiques d'élevage et de production des laits et des fromages. Ces compétences ont permis notamment : de comprendre le rôle de la gerle et de ses biofilms microbiens ; de comprendre et d'identifier le potentiel anti-pathogènes de composantes du microbiote des laits et fromages (projet BLASTE C) ; d'identifier l'importance technologique, pour la fabrication du fromage, du microbiote des laits et de proposer une méthode simple pour vérifier sa présence dans les laits (projet Floracq) ; de caractériser la diversité des microbiotes au sein des AOP fromagères et de mesurer l'impact de l'usage des ferments (projet MetaPDOcheese).

Publications scientifiques majeures

Callon C., Picque D., Corrieu G., Montel M.C., 2011. Ripening conditions: A tool for the control of *Listeria monocytogenes* in uncooked pressed type cheese. *Food Control*, 22(12):1911-1919.

Delbès C., Miszczycha S., Ganet S., Helinck S., Veisseire P., Pochet S., Thevenot D., Montel M.C., 2013. Behavior of *Escherichia coli* O26:H11 in the presence of *Hafnia alvei* in a model cheese ecosystem. *International Journal of Food Microbiology*, 160(3):212-218.

Poupet C., Saraoui T., Veisseire P., Bonnet M., Dausset C., Gachinat M., Camarès O., Chassard C., Nivoliez A., Bornes S., 2019. *Lactobacillus rhamnosus* Lcr35® as an effective treatment for preventing *Candida albicans* infection in preclinical models: first mechanistical insights. *PlosOne*, p. 612481. DOI: 10.1101/612481.

Fretin, M., Chassard, C., Delbes, C., Lavigne, R., RIFA, E., Theil, S., Fernandez, B., Laforce, P., & Callon, C. C. (2020). Robustness and efficacy of an inhibitory consortium against *E. coli* O26:H11 in raw milk cheeses. *Food Control*, 115, 107282. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107282>

Circulation des connaissances et intermédiaires

Insertion d'INRA d'Aurillac dans son environnement socio-économique

Dès la création du laboratoire de recherches fromagères d'Aurillac en 1973, son fonctionnement original crée les conditions d'une circulation intense des informations et connaissances entre INRA et les filières fromagères du Massif Central. Le laboratoire recevait, via des conventions de recherche, des financements des filières en proportion des volumes de fromage commercialisés, définissait avec leurs représentants les orientations de ses recherches et rendait compte régulièrement de ses résultats dans le cadre d'un conseil scientifique.

Depuis, ces conventions ont été remplacées par l'élaboration de nombreux contrats de recherche établis dans le cadre de projets collaboratifs. Par exemple le projet FUI BLASTE C (2011 – 2014) réunissant le groupe laitier 3A, INRA, VetAgro sup et Lallemand qui a abouti à la mise en évidence des propriétés antagonistes des STEC d'*H. alvei*, ou plus récemment le projet « Amont Saint-Nectaire », impliquant INRAE, d'autres partenaires académiques, les filières fromagères, coordonné par le Pôle Fromager et ayant pour objectif d'identifier les facteurs de risque sanitaire dans la filière AOP Saint-Nectaire.

Selon le président du Pôle Fromager, INRAE d'Aurillac permet une recherche sur des questions concernant des filières locales, qui ne se ferait pas ailleurs. INRAE apporte une vision scientifique et neutre, très importante pour trancher des débats internes aux filières. Par exemple les études statistiques permettant d'identifier des facteurs contribuant aux risques sanitaires permettent de prendre des décisions difficiles, comme d'abandonner des pratiques dont il semblait impossible de se passer.

Sur son site d'Aurillac, INRAE est entouré d'acteurs des filières fromages AOP (entreprises, Pôle Fromager, organismes de formation, ...), qui vaut à ce site le surnom de « colline fromagère ». L'importance des activités recherche et production en microbiologie, à l'origine sur les ferments, attire de plus en plus d'entreprises du domaine microbiologique, faisant évoluer l'écosystème vers une « colline microbiologique ».

Le Pôle Fromager AOP Massif Central

L'association Pôle Fromager AOP Massif Central, créé en 1993, dont fait partie INRAE et qui est hébergé par INRAE Aurillac est un lieu privilégié d'échanges entre INRAE, d'autres partenaires académiques, et les filières AOP du Massif Central. Le Pôle Fromager s'est structuré en 2018 avec le « Centre de Ressource pour l'Agriculture de Qualité et de montagne » pour constituer le Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) « filières fromagères sous indication géographique », dont le périmètre s'étend à toute la région Auvergne-Rhône-Alpes. Le Pôle a par exemple été le vecteur privilégié de la diffusion des résultats d'INRAE Aurillac sur les barèmes du passage pour résoudre les difficultés du croûtage de certains fromages, au travers notamment d'une lettre mensuelle envoyée aux cotisants du Pôle Fromager et faisant état des résultats d'INRAE. Les missions du pôle sont néanmoins plus large que la technologie et qualité des fromages, et englobent la qualité-typicité des fromages, les systèmes d'élevage, l'image des fromages pour les consommateurs et la société, les relations entre les AOP fromages et les territoires.

Le Pôle Fromager permet de faire remonter les besoins en recherche des filières et d'initier des projets. Par exemple, les études réalisées par INRAE d'Aurillac sur l'évolution de *L. monocytogenes* dans les fromages de type Cantal, ont été conduites dans le cadre du Pôle Fromager, et ont été à l'origine d'une saisine de l'Anses à la demande de la DGAL, (direction générale de l'alimentation).

Le LIP et LSC intermédiaires dans la diffusion de ferments et de connaissances

Le LIP, en commercialisant depuis 1983 les ferments d'affinage issus de recherche de, ou conduite avec, INRAE d'Aurillac est un élément clé de leur diffusion. Le LIP a une politique commerciale intégrant tous types de producteurs, fermiers, PME ou grands groupes. Outre la vente des ferments, il apporte un conseil sur leur mise en œuvre, par le biais d'audits, d'un suivi et de fiches qui sont régulièrement enrichies par des informations techniques. Il est aussi bien placé pour identifier et collecter les difficultés ou questions qui se posent aux entreprises fromagères. Le LIP est donc aussi un élément clé de la circulation des connaissances sur la qualité des fromages de moyenne montagne. A sa création ce rôle était cantonné au Massif Central, le statut de GIE du LIP ne lui permettant pas de commercialiser ses produits au-delà du cercle de ses membres. Depuis sa transformation en SAS en 2000, l'impact du LIP s'est étendu à la majorité des fromages AOP de France. Enfin, beaucoup des problèmes ou des innovations sur la qualité des fromages mettent en jeu les ferments d'affinage, et leur résolution passe donc souvent par des programmes de recherche impliquant le LIP et INRAE d'Aurillac. Ainsi, selon un ancien directeur technique d'une entreprise fromagère du Massif Central, « *il est important de consolider les liens INRA et LIP car il y a de plus en plus de demandes et les besoins sont de plus en plus complexes* ». Dans certains cas, la diffusion de connaissances par le LIP peut prendre le pas sur la diffusion de ferments comme l'explique notre interlocuteur : « *les grands groupes de Roquefort qui font leur propres P. roqueforti souhaitent aussi profiter des avancées du LIP* ».

Le « Conseil Scientifique » du LIP, qui réunit les représentants d'entreprises de tailles variées jouent un rôle important d'échange sur les questions, les perspectives et les connaissances. En outre, selon l'actuel président du LIP, la présence de groupes d'envergure nationale dans le conseil d'administration a beaucoup contribué à « *faire rayonner les ferments du LIP [dont la majorité proviennent de collections d'INRAE d'Aurillac] et les faire essayer hors du Massif Central* »

Plus récemment, la création de la division LSC de l'entreprise Lallemand, a fourni un nouvel interlocuteur d'INRAE d'Aurillac sur les ferments de biopréservation (marché sur lequel le LIP n'est pas positionné). LSC et INRAE d'Aurillac collaborent pour identifier des souches microbiennes antagonistes, expliquer leurs mécanismes, valider leurs effets dans les fromages. INRAE d'Aurillac peut licencier des souches antagonistes à LSC qui les commercialise, LSC peut aussi soumettre de nouvelles souches à INRAE d'Aurillac pour étudier leurs effets au cours de la fabrication fromagère, en utilisant la plateforme fromagère L2, ou encore mettre en relation INRAE d'Aurillac avec d'autres partenaires actifs dans le domaine de la biopréservation.

Les médias dédiés à la profession fromagère

La presse professionnelle joue un rôle important dans la diffusion des résultats des recherches d'INRAE d'Aurillac vers la profession fromagère. Par exemple, le rédacteur en chef de « Profession fromager » souligne l'importance des résultats d'INRAE, notamment sur la gerle pour les producteurs de Salers, ou encore du projet Amont Saint-Nectaire sur les risques sanitaires. La qualité de ses interactions avec INRAE lui permet de rédiger « des articles les plus précis possibles » à destination de la profession. Il mentionnait aussi l'implication des chercheurs d'INRAE dans les journées techniques qu'il organise. Notre interlocuteur insiste sur « l'ouverture des chercheurs d'INRAE d'Aurillac qui ne sont pas trop pointus ni enfermés dans leur spécialité ». Il estime que son activité « permet une prise de conscience de la profession » et « aide les producteurs à infléchir leurs pratiques ». Il est à l'origine de la « Fondation lait cru » dédiée à la défense de la biodiversité fromagère, à laquelle participe le directeur d'INRAE d'Aurillac (collège des personnalités qualifiées).

Participation d'acteurs locaux dans des instances nationales et internationales

Un responsable qualité d'un important groupe laitier basé à Aurillac a pris, dès la fin des années 1980s, des responsabilités en tant « qu'expert sécurité des aliments » dans des structures professionnelles nationales (Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière - CNIEL, Association Nationale des Industries Alimentaires - ANIA) et internationales (Fédération Internationale de Laiterie – FIL). Il a dans ce cadre eu des contacts réguliers avec les autorités en charge des questions sanitaires, Direction Générale à l'Alimentation (DGAL) en France et leurs équivalents dans des pays importateurs de fromages AOP du Massif Central, et a fait partie de la délégation française à la Commission du *Codex Alimentarius*² pour l'élaboration de bonnes pratiques pour le lait et les produits laitiers. A l'époque, les fromages au lait cru cristallisaient l'opposition de plusieurs pays, notamment les Etats-Unis, l'Australie et la Nouvelle Zélande, à cause du risque de transmission aux fromages de bactéries pathogènes pouvant être présentes dans le lait cru et non détruites par la pasteurisation. La représentation française a pu argumenter avec succès en faveur des fromages au lait cru, notamment sur la base de résultats scientifiques montrant la disparition des bactéries pathogènes de plusieurs types de fromages au cours de l'affinage, résultats obtenus par ou

² Le Codex Alimentarius, ou « Code alimentaire », est un ensemble de normes, de lignes directrices et de codes d'usages adoptés par la Commission du Codex Alimentarius. La Commission a été créée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) afin de protéger la santé des consommateurs et de promouvoir des pratiques loyales en matière de commerce de denrées alimentaires. Elle est l'élément central du Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/fr/>

avec INRAE d'Aurillac sur la plateforme fromagère L2. Selon ce responsable qualité (désormais à la retraite) : « lors des menaces sur l'exportation du Roquefort, un nombre important de challenge tests ont été réalisés à INRAE d'Aurillac dans la nouvelle plateforme L2 car c'était le seul endroit en France pour réaliser ces challenges tests. Le CNIEL a décidé que ces tests se feraient à Aurillac [plutôt que dans un autre atelier pilote français en confinement L3] du fait de la présence à Aurillac de la technologie fromagère. Les études ont duré environ 8 ans avec cette organisation ».

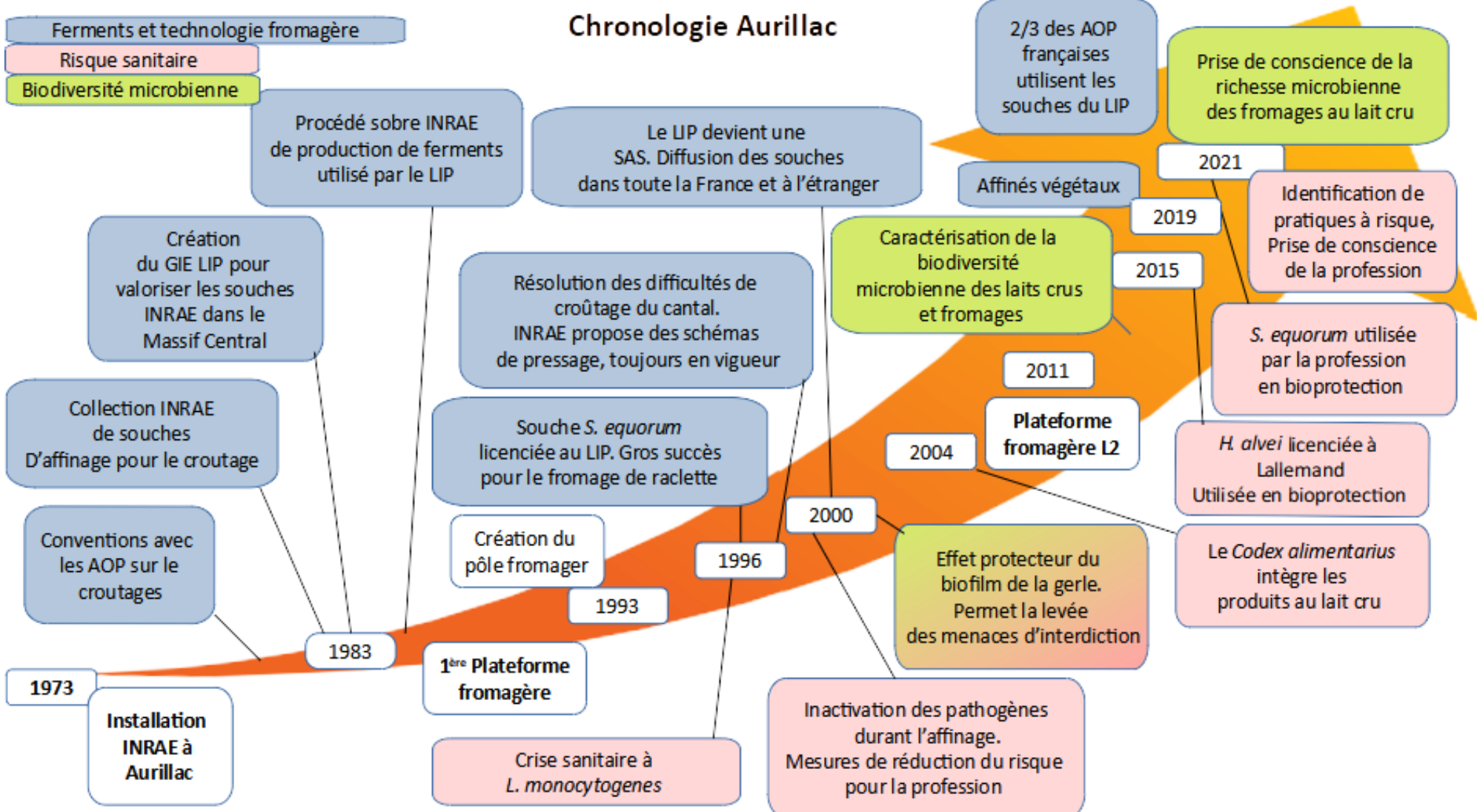
Chronologie

Date	Événement	Signification pour le cas
1973	Installation d'INRA à Aurillac	Mise en place des conventions de recherche avec les filières fromagères du Massif Central.
Fin des années 1970s – début des années 1980s	INRA d'Aurillac a constitué une collection d'une centaine de souches d'affinage qu'il valorise auprès des filières fromagères.	Output. Collection qui sera à la base de la création du LIP.
1982	Convention avec l'AOC St-Nectaire pour résoudre des difficultés de « croutage ». Recrutement du futur 1 ^{er} salarié du LIP	Initiation de projets de recherche dont l'objectif était d'isoler et caractériser des ferments d'affinage des fromages du Massif Central.
1982-1984	Mise au point par INRA d'un procédé de multiplication des ferments simple et économe, permettant une reprise rapide des ferments au moment de l'utilisation	Output. Procédé qui sera à la base de la technologie du LIP
1983	Création du GIE LIP à INRA de Marcenat. Valorise les ferments et méthodes mises au point par et avec INRAE à une échelle industrielle. Le LIP reste dans les locaux de INRA (jusqu'à 3 salariés). Poursuite des recherches avec INRA.	Impact. Le GIE LIP associe les AOC Cantal, St-Nectaire, Saler, Bleu d'Auvergne, Fourme d'Ambert et de Montbrison, qui seront rejoints par Roquefort. Instrument de défense des AOC par la mise au point de ferments d'affinage dédiés aux AOC.
1989	Création d'une première plateforme en technologie fromagère à INRA Aurillac	Meilleure capacité à tester des ferments et technologies fromagères
1993	Création du Pôle Fromager	Intermédiaire privilégié de dissémination des résultats INRAE vers la profession. Sera hébergé par INRA à partir de 2008.

1993-1997	Recherches sur le rôle du pressage pour l'affinage du Cantal. Découverte du rôle néfaste des pressions excessives qui provoquent l'éclatement des globules gras, leur oxydation en surface et la production de composés toxiques pour la moisissure de croûtage	Travaux qui conduiront à l'explication des difficultés de croûtage du Cantal et à des schémas de pressage toujours utilisés aujourd'hui.
1997	Output. Isolement d'une souche de <i>S. equorum</i> par INRA pour l'affinage de fromages.	Impact. Gros succès pour l'affinage du fromage à raclette de cette souche commercialisée par le LIP. Impact. Très bon retour de terrain sur l'utilisation de cette souche comme antagoniste de <i>L. monocytogenes</i> et vente par le LIP pour cet usage (mais sans qu'il y ait eu d'études INRAE sur cette propriété de la souche)
1996	Crise sanitaire à <i>Listeria monocytogenes</i> dans des filières fromagères au lait cru. Initiation des travaux de recherche sur <i>Listeria monocytogenes</i> (Lm) dans les fromages.	Output. Démonstration en pilote de la disparition de Lm dans le Cantal en cours d'affinage et validation sur fromage naturellement contaminé. Démonstration que le cantal peut être commercialisé avec moins de 100 Lm/g. Impact. Utilisation de l'affinage pour réduire les pertes et retraits de fromages en cas de contamination par Lm. Impact. Mise en place de mesures préventives Lm pour le St Nectaire avec DSV et l'AOC St Nectaire (avancement âge réforme des vaches, hygiène et conception des fromageries fermières).
2000	Changement de statut du LIP qui de GIE devient une SAS	Extension de l'impact. 35% de l'activité hors des AOC du Massif Central fondatrices du GIE. La majorité des AOC françaises utilisent des souches du LIP.
2000	Etude sur la gerle (récipient en bois utilisé pour la fabrication du Salers). Output. Démonstration de la capacité du biofilm de la gerle à inhiber les bactéries pathogènes en fonction de son volume.	Impact. Gerles non interdites suite à ces travaux. Impact potentiel. Recommandations sur le volume des gerles à utiliser.

2004	Le <i>Codex alimentarius</i> intègre les produits au lait cru dans son « guide des bonnes pratiques hygiéniques pour le lait et les produits laitiers »	Impact. Reconnaissance internationale des produits au lait cru à laquelle ont contribué les résultats INRAE d'Aurillac.
2008	Nouvelle plateforme fromagère en confinement L2	Capacité renforcée à étudier le comportement des pathogènes en interaction avec les technologies fromagères.
2011-2014	Recherches sur la biopréservation des fromages. Output (projet BLASTEC). Isolement par INRAE d'une souche d' <i>Hafnia alvei</i> avec des propriétés anti <i>Listeria</i> et anti STEC	Impact. Souche valorisée par Lallemand (licence 2015) auprès des producteurs principalement pour lutter contre les STEC dans les fromages.
2011 – 2014	Recherche sur les flux à l'origine de la biodiversité microbienne des laits crus (projet de recherche CASDAR Floracq).	Méthode « Floracq » pour évaluer la biodiversité microbienne des laits crus et son intérêt technologique. Changement de pratiques de certains producteurs pour préserver cette biodiversité.
2018-2019	Extension des recherches sur les ferments aux produits végétaux. Output. Mise au point pour une entreprise du mélange de ferments pour l'affinage d'un produit végétal fermenté.	Impact. Commercialisation du produit « affinés végétaux » par l'entreprise.
2021	Le LIP réalise 2,5 M € CA, compte 21 salariés et propose 200 références	Consolidation de l'impact. 68% du CA provient de souches INRAE (complétées par des souches LIP). 29 des 43 AOP françaises utilisent des souches LIP. 2% des ventes se font à l'international.
2017-2021	Projet de recherche interdisciplinaire « Amont Saint-Nectaire » piloté par INRAE Aurillac, avec le Pôle Fromager et des producteurs.	Identification et prise de conscience par la filière, de pratiques à risques pour la qualité sanitaire du Saint-Nectaire au lait cru.
2018-2022	Projet de recherche MetaPDOcheese	Caractérisation et mise en valeur de la biodiversité microbienne des fromages au lait cru.

Chronologie Aurillac



Impacts 1

Économique – Création d'un acteur majeur des ferments d'affinage sur Aurillac et maîtrise de la qualité des fromages.

1 – Le LIP (Laboratoire Interprofessionnel de Production) un acteur majeur des ferments d'affinage

Le LIP SAS, entreprise de production de ferments d'affinage des fromages basée à Aurillac, a été créé grâce à la volonté d'INRA d'Aurillac et de producteurs de fromages du Massif Central, pour valoriser une collection de ferments et des technologies développées à INRAE d'Aurillac. Les souches issues de cette collection représentent actuellement 68% du chiffre d'affaire du LIP. Le LIP a depuis sa création, maintenu des liens étroits avec INRAE d'Aurillac, pour la recherche sur les ferments et leur mise en œuvre. Il a connu une croissance rapide depuis sa création avec 21 salariés et un chiffre d'affaire de 2,5 M € en 2021. A l'origine centré sur les AOP du Massif Central, le LIP fournit désormais en ferments 29 des 43 AOP françaises, les AOP du Massif Central représentant 30% de son CA, et s'ouvre à l'international. Le LIP représenterait, selon son président, 80% des ferments d'affinage utilisés dans le Massif Central. Prenant l'exemple d'une grosse entreprise fromagère du Massif Central, 90% des ferments utilisés proviennent du LIP.

2 – Des ferments d'affinage en soutien aux filières fromagères

La diffusion de ferments d'affinages adaptés aux fromages du Massif Central et à ses entreprises fromagères, représente un soutien décisif au développement économique des fromages AOP. « *Sans le LIP on se demande comment on ferait car il n'y a pas les mêmes collections ailleurs* » rapporte un ancien directeur d'une grosse entreprise fromagère du Massif Central. Par ailleurs le LIP fournit tous les producteurs, y compris les plus petits, et apporte un soutien technique à l'utilisation des ferments ou à la résolution de problèmes d'affinage. La création du LIP a permis une production fiable de ferments de qualité, qui ont apporté une amélioration de la qualité des fromages et une meilleure fiabilité, régularité, des caractéristiques sensorielles des fromages AOP, contribuant ainsi à mieux affirmer leur typicité. Ces ferments ont eu un impact économique décisif en contribuant à l'adaptation des fromages du Massif Central aux exigences des GMS. « *Les fromages à l'époque avaient des défauts et n'auraient pas pu être vendus dans les réseaux actuels* » explique un ancien directeur technique d'une importante entreprise fromagère.

Le bénéfice des ferments du LIP s'est depuis étendu aux AOP d'autres régions françaises.

3 – Association ferments d'affinage et technologie fromagère pour la maîtrise de la qualité.

Grâce à sa plateforme technologique fromagère, INRAE d'Aurillac a pu associer la recherche de ferments d'affinage au développement de solutions technologiques afin d'obtenir une maîtrise parfaite de l'affinage des fromages, et d'accompagner les filières dans leurs évolutions. Un exemple illustratif est la résolution des problèmes de croûtage du fromage de Cantal, identifiés par INRAE d'Aurillac comme provenant des trop fortes pressions exercées par les presses mécaniques alors nouvellement installées dans les entreprises. Les abaques de pressions à appliquer en fonction de la taille des fromages, établies par INRAE d'Aurillac, sont toujours en application à ce jour. Elles ont permis d'éliminer les défauts des fromages, les pertes économiques qu'ils entraînaient, et de réduire d'un facteur 10 la quantité de ferment de croûtage nécessaire.

Sur sa plateforme technologique, INRAE d'Aurillac a aussi adapté des technologies nouvelles aux AOP du Massif Central. C'est par exemple le cas de la microfiltration du lait pour des fromages à pâte persillée, en partenariat avec une entreprise fromagère d'Auvergne. Le principal impact positif était une réduction de l'altération des fromages, et des pertes économiques afférentes, avec un apport très positif sur le goût du fromage. La commercialisation s'est néanmoins arrêtée lorsque la législation a précisé appellation « lait cru », la rendant incompatible avec la microfiltration.

Economique et sanitaire – Qualité sanitaire des fromages au lait cru

1 - Défense des fromages au lait cru et des appellations fromages fermiers

Selon un ancien cadre d'une entreprise laitière du Massif Central membre de la délégation française à la commission du *Codex Alimentarius* sur les produits laitiers, la commission était à l'origine hostile aux fromages au lait cru, et ce sont les études conduites sur la plateforme L2 de l'INRAE d'Aurillac, montrant que pour certains fromages l'affinage provoquait une réduction et une disparition de *L. monocytogene*, qui ont permis aux pays favorables au lait cru de renverser l'opinion de la commission. Le guide de bonne pratique d'hygiène finalement établi par le *Codex Alimentarius* en 2004 reconnaît tout à fait la production de fromage au lait cru comme compatible avec la sécurité sanitaire et préconise des mesures d'hygiènes supplémentaires, à adapter à la façon dont les facteurs intrinsèques au fromage impactent la survie des pathogènes, en cohérence avec les résultats d'INRAE Aurillac. Compte tenu de l'importance du lait cru pour les fromages AOP du Massif Central et français, cet impact au niveau du *Codex Alimentarius* a retiré une menace importante pour la survie des filières.

Les études conduites sur la plateforme L2 d'INRAE d'Aurillac ont aussi permis à la profession d'obtenir l'autorisation d'importation du Roquefort par l'Australie et la Nouvelle Zélande. Le Roquefort a ainsi été le seul fromage au lait cru ayant l'autorisation d'importation en Australie et Nouvelle Zélande jusqu'en 2015. Selon un représentant de la profession, les volumes en jeu étaient modestes, mais l'impact en terme d'image international du Roquefort a été majeur.

En France au début des années 1990s, avec une forte présence de *L. monocytogenes*, la filière fromages Saint-Nectaire « fermiers » au lait cru apparaissait condamnée. Seul semblait pouvoir perdurer le Saint-Nectaire « laitier » au lait pasteurisé. Grâce aux recherches d'INRAE et de ses partenaires l'amélioration de la qualité sanitaire des fromages au lait cru a permis de sauver les Saint-Nectaire fermiers. Leur production est passée de 5000 t par an à l'époque de la crise sanitaire à 8500 t par an actuellement. C'est désormais le fromage fermier au lait cru qui domine largement et tire la filière AOP Saint-Nectaire dans son ensemble, celle-ci générant annuellement 140 millions € de chiffre d'affaire.

2 - Réduire le risque économique de retraits de lots contaminés

Les données acquises sur la plateforme L2 d'INRAE d'Aurillac (Anses 2015) permettent aux filières AOC de définir une stratégie pour réduire le risque de lots contaminés par des pathogènes, par exemple et ajustant au mieux les stades des autocontrôles et leurs valeurs limites, en définissant des actions en cas de lots positifs comme la prolongation de l'affinage lorsque celui-ci permet la disparition des pathogènes. La présence de bactéries pathogènes en début d'affinage n'est donc plus systématiquement synonyme de destruction des lots, réduisant d'autant les pertes économiques.

3 – Réduire le risque sanitaire pour le consommateur de présence de bactéries pathogènes

Les recherches d'INRAE d'Aurillac et de ses partenaires ont globalement abouti à des moyens, utilisés par les filières, de réduire la contamination des fromages au lait cru par des bactéries pathogènes, contribuant ainsi à réduire le risque sanitaire pour les consommateurs.

- Alors qu'au début des années 1990s, 30% des fromages en Saint-Nectaire fermier étaient positifs pour *L. monocytogenes*, l'avancement de l'âge de réforme des vaches et la modification des pratiques d'hygiènes, identifiée comme mesures de maîtrise par INRAE et ses partenaires, ont permis de réduire la contamination à un niveau acceptable pour la sécurité sanitaire des fromages.
- Les résultats d'INRAE d'Aurillac sur la possibilité de moduler la durée d'affinage pour réduire les pathogènes permettent aux entreprises fromagères de réduire le risque de mettre sur le marché des lots de fromages contenant des bactéries pathogènes.

- INRAE d'Aurillac a découvert des souches et des consortia microbiens possédant des activités antagonistes contre des bactéries pathogènes lors de la fabrication fromagère et dans les fromages. La commercialisation d'une de ces souches de « biopréservation » par la division LSC du producteur de ferment Lallemand permet une réduction de la contamination des fromages au lait cru et réduit d'autant les risques pour les consommateurs. L'impact des ferments de biopréservation est néanmoins encore fragile car leur action ne permettant pas d'assurer une absence totale de pathogènes, les fabricants de fromage hésitent à les utiliser. En outre les consortia regroupant plusieurs souches microbiennes, potentiellement plus efficaces, sont actuellement difficiles à mettre en œuvre dans la pratique industrielle.

Environnemental

1 – Production de ferments par un procédé sobre.

INRAE d'Aurillac a mis au point un procédé original, mobilisant peu d'intrant et peu d'énergie par comparaison aux procédés classiques, pour la multiplication des souches microbiennes qu'il diffusait auprès des professionnels. Ce procédé a été utilisé à l'échelle industrielle par le LIP dès sa création, pour la production commerciale des ferments. Selon un ancien cadre de l'industrie fromagère, ce procédé permettait en outre une reprise rapide et une facilité de mise en œuvre des ferments.

2 – Réduction des pertes alimentaires.

La meilleure maîtrise des défauts qualitatifs des fromages, ainsi que du risque de non-conformité sanitaire, obtenue grâce aux résultats d'INRAE d'Aurillac, ont permis d'éviter la destruction de lots de fromages, avec un impact favorable pour l'environnement. Pour en illustrer l'importance, rappelons que les non-conformités sanitaires peuvent entraîner la destruction de plusieurs dizaines voire des centaines de tonnes de fromages tous les ans.

3 – Contribution au maintien de prairies naturelles dans le Massif Central.

Les filières fromage AOP du Massif Central sont basées sur un élevage en grande partie alimenté par les prairies naturelles. Les impacts positifs des recherches d'INRAE sur l'économie de ces filières ont ainsi contribué au maintien d'importantes surfaces en prairies naturelles, qui ont elles-mêmes plusieurs impacts positifs sur l'environnement comme la fixation de CO₂ et la préservation d'une riche biodiversité. Un exemple illustratif est la préservation de la gerle pour la fabrication du Salers, fromage produit uniquement lorsque les vaches sont en alpages. Sans les travaux d'INRAE, son usage risquait d'être interdit, ce qui aurait fait perdre au fromage son AOP, faisant peser une menace sur la rentabilité de ce système d'élevage basée sur les prairies d'alpages.

4 – Identification de pratiques néfastes pour l'environnement

Certains des facteurs contribuant au risque sanitaire identifiés par INRAE et ses partenaires ont aussi des conséquences négatives sur l'environnement. Par exemple, l'identification de « l'enrubannage », fortement consommateur de films plastiques, comme facteur de risque sanitaire conduit les filières à recommander sa substitution par le foin. Selon le président du Pôle Fromager, la majorité des investissements en zone AOP Saint-Nectaire se fait sur des hangars à foin depuis ces résultats de recherche. Les impacts sanitaires visés par les recherches d'INRAE et de ses partenaires ont donc aussi un co-bénéfice pour l'environnement.

Politique

1 – La création du LIP, un atout pour la souveraineté des filières fromagères françaises

Le LIP est l'un des rares producteurs de ferments à capitaux 100% français. Par exemple, avant 1980, les producteurs de fromages bleus qui ne produisaient pas eux-mêmes leurs ferments, se

fournissaient en Italie, alors qu'aujourd'hui c'est l'inverse. Cela contribue à l'image des AOP du Massif Central car leurs ferments étant produits sur place, cela renforce la notion d'origine géographique et démontre leur maîtrise technologique. Les liens étroits entre le LIP, les filières fromages AOP et INRAE d'Aurillac permettent le développement et la commercialisation de ferments qui répondent aux besoins des acteurs locaux. Les collections de ferments INRAE et LIP maintiennent une grande diversité permettant de préserver la typicité des appellations et d'anticiper les futures évolutions qui pourraient s'avérer nécessaires.

2 – Une stratégie d'influence politique au service des fromages au lait cru et des ferments

- Les recherches conduites à INRAE d'Aurillac, relayées par un membre d'une entreprise laitière du Cantal participant à la commission du *Codex Alimentarius* chargée de rédiger le « Guide de Bonnes Pratiques d'Hygiène pour les produits laitiers », ont permis de faire basculer la position de la commission vis-à-vis du lait cru, qui est désormais inclus dans le guide. Les résultats des recherches INRAE ont aussi permis au producteurs de Roquefort d'obtenir l'autorisation d'importations par l'Australie et la Nouvelle Zélande.

- Lors de la mise en place du règlement sur l'« Accès aux ressources génétiques et aux connaissances traditionnelles associées et partage des avantages découlant de leur utilisation » (APA), le LIP (entreprise issue des recherches d'INRAE d'Aurillac) a fortement contribué à l'adoption de l'amendement « Lebec » du 3 septembre 2018 permettant, à titre expérimental, que les ressources génétiques prélevées sur des microorganismes sur le territoire de la France métropolitaine bénéficient d'une dérogation, afin d'éviter une surcharge administrative et une insécurité juridique, notamment pour l'industrie des ferments d'affinage.

3 – Constitution d'un pôle d'excellence en microbiologie sur Aurillac

Face au constat de l'isolement et de la tendance à la dépopulation du Cantal, la préfecture a décidé la création d'un pôle d'excellence en microbiologie, conçu comme un accélérateur d'innovations afin d'augmenter l'attractivité du département. Selon la sous-préfète du Cantal, « *ce pôle ne se serait pas fait sans INRAE C'est une reconnaissance de l'implantation locale d'INRAE et de l'écosystème d'entreprises qui s'est constitué autour* ». Sur ce dernier point, la présence du LIP, entreprise issue des recherches INRAE d'Aurillac « *a participé à la confiance en INRAE* ». Toujours selon la sous-préfète du Cantal, « *INRAE est le seul [acteur local] capable de porter le pôle d'excellence car il allie excellence scientifique et impartialité Il [son directeur] est la seule personne capable de mettre tout le monde autour de la table, de discuter avec compétences et neutralité et d'assurer le lien entre élus et industriels* ». Enfin, la sous-préfète insiste aussi sur le fait qu'INRAE permet d'ouvrir le pôle d'excellence à l'international, en référence notamment au projet européen porté par INRAE d'Aurillac (l'Action COST Pimento).

Social, territorial

1 – Création d'emplois dans le domaine des ferments

La création à l'initiative d'INRAE du LIP pour valoriser sa collection de souches ce traduit à ce jour par 21 emplois directs, auxquels il faudrait ajouter ceux des autres entreprises exploitant les résultats de la recherche de l'INRA dans ce domaine, par exemple Lallemand sur son site de production de Saint-Simond à proximité immédiate d'Aurillac.

2 - Contribution au développement ou au maintien de l'activité et des emplois des filières fromagères en moyenne montagne.

Les impacts économiques positifs des recherches d'INRAE Aurillac ont aussi un important impact social et territorial en soutenant l'activité des structures de production locales, et en particulier de petites entités se différenciant par la production de fromages au lait cru, notamment de fromages

fermiers ou produits au sein de petites coopératives. Ces impacts sont illustrés par les exemples suivants.

- La résolution des problèmes sanitaires qui affectaient les fromages fermiers au lait cru au début des années 1990 a permis de sauver cette activité et les emplois afférents. Pour l'AOP Saint-Nectaire cela représente environ 2000 emplois directs et indirects. La production fermière offre notamment des revenus suffisants pour l'installation de jeunes éleveurs et permet le maintien de l'activité économique associée (cabinet vétérinaire, fournisseurs d'équipements par exemple).
- Au début des années 2000, par crainte du risque sanitaire la DGAL menaçait d'interdire la gerle, conteneur en bois dans lequel est réalisée la première fermentation du lait pour l'AOP Salers, tandis que l'INAO menaçait de retirer l'appellation si la fermentation n'était plus réalisée en gerle. Les travaux d'INRAE Aurillac ont permis de maintenir son utilisation et de résoudre le dilemme dans lequel se retrouvait les producteurs. Le président du Pôle Fromager insiste sur l'importance de la gerle pour la typicité de l'AOP Salers et sur le fait qu'elle permet à certains producteurs de se passer de ferments lactiques. En outre, ce projet a conduit INRAE et ses partenaires à susciter la création d'une filière de formation à la fabrication des gerles dans un lycée technique afin de maintenir le savoir-faire.
- Le lait cru devant être transformé rapidement il ne peut être transporté sur de longues distances et doit être transformé à proximité. Par sa contribution à la maîtrise des risques sanitaires pour les fromages au lait cru, INRAE participe ainsi au développement de ces filières et au maintien d'emplois dans le domaine de la transformation fromagère, au niveau des territoires d'élevage.
- Le LIP qui maintient une production de ferments propres à chaque technologie fromagère et ce quelle que soit la taille des entreprises.
- Le développement d'équipements de technologie fromagère de petites capacités pour les besoins de la plateforme expérimentale INRAE a souvent été suivi par leur production industrielle à destination des petites structures fromagères.
- La mise au point par la plateforme INRAE d'Aurillac de spécialités originales et segmentantes permettant des productions de niches pour de petites structures.

Impacts 2

Economique et environnemental

L'extension de l'utilisation des ferments développés pour l'affinage des fromages à des préparations végétales, ayant conduit à des produits récemment mis sur le marché, représente une contribution à une nouvelle filière de produits végétaux fermentés et à la « transition protéique », visant à intégrer plus de protéines végétales dans l'alimentation.

Sanitaire

Une souche de *Staphylococcus equorum* d'INRAE, diffusée par le LIP pour le croûtage de certains fromages, est aussi utilisée par les entreprises fromagères comme anti pathogènes, sur la base de connaissances empiriques et d'un bon retour des utilisateurs. Toutefois, la découverte de cette activité ne résulte pas de recherches INRAE. Il s'agit d'un impact 2 résultant de « l'appropriation » par la profession d'un impact 1 des recherches INRAE.

Impacts potentiels

Economique - diversification de l'usage des ferments au-delà des produits laitiers

Des impacts économiques futurs sont à envisager de l'élargissement du périmètre des recherches sur les ferments par INRAE d'Aurillac, dans les domaines de la transition protéique et de la santé. Cet élargissement s'inscrit dans le cadre d'initiatives locales (Création du Pôle d'Excellence Microbiologie sur Aurillac), national (participation d'INRAE d'Aurillac à l'initiative « ferments du futur »), et européenne (coordination par INRAE d'Aurillac de l'Action COST Pimento).

Renforcer la souveraineté des filières fromagères et des producteurs du Massif Central

Les recherches sur la fermentation laitière ne sont pas pour autant négligées. INRAE d'Aurillac a établi une convention de recherche sur des ferments lactiques d'acidification spécifiques des fromages AOP. Il s'agit de s'intéresser à la première étape de la fermentation du lait, avant l'affinage, sur laquelle le LIP ne propose pour l'instant pas de ferment, afin de compléter la souveraineté et le savoir-faire des territoires en maîtrisant toutes les étapes de la fabrication des fromages.

Selon le rédacteur en chef de « Profession Fromager », les projets de recherche interdisciplinaires pilotés par INRAE d'Aurillac et intégrant les producteurs, leur permettent de prendre du recul et de retrouver une compréhension globale de leur filière. Il s'agit d'un enjeu majeur pour la souveraineté des producteurs qui, selon notre interlocuteur, ont trop délégué leurs savoir-faire à une multitude d'acteurs de la filière.

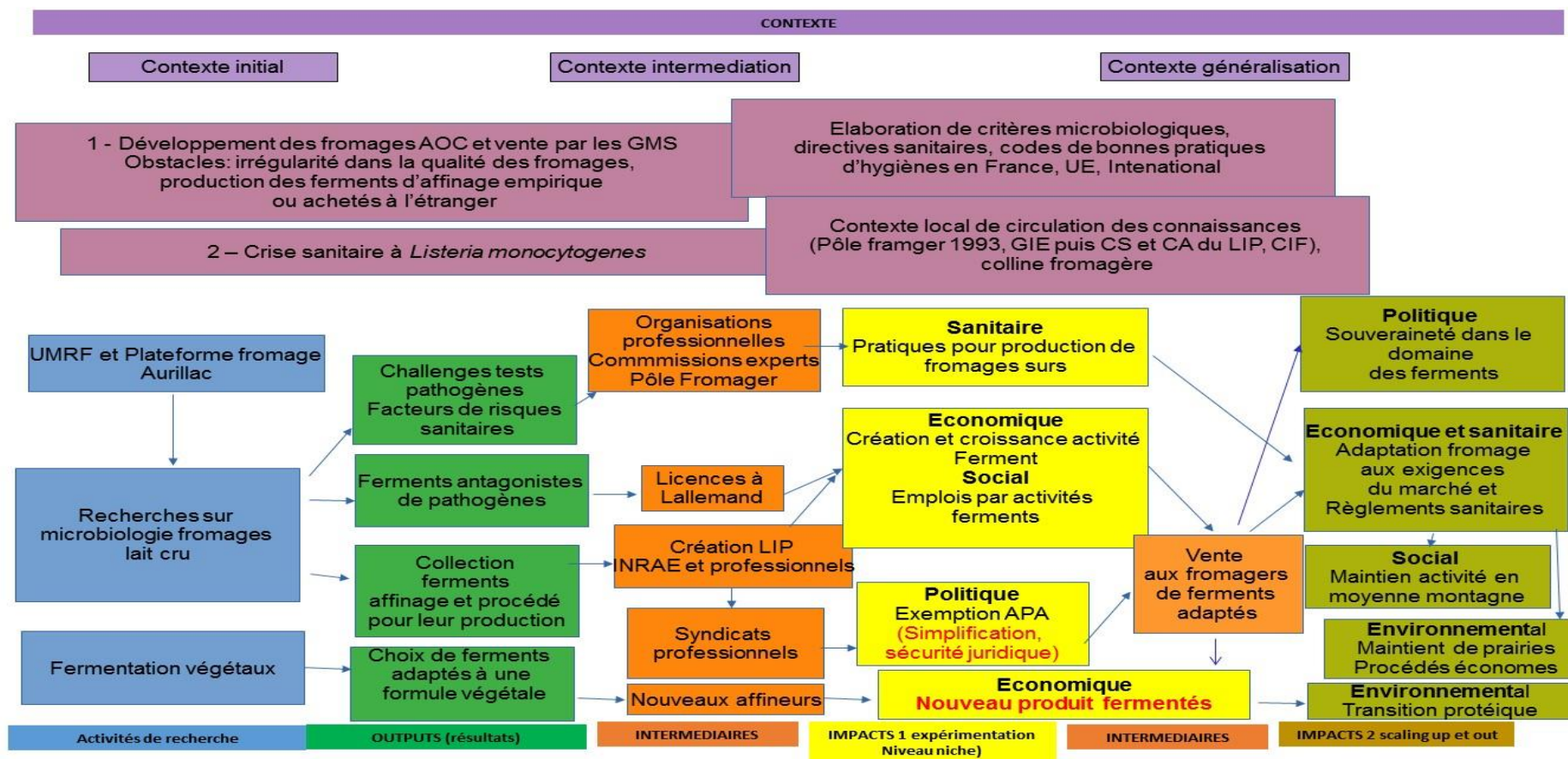
Economique en préservant la biodiversité microbienne des laits crus pour mieux valoriser la typicité des AOP fromagères.

Les recherches d'INRAE Aurillac sur la biodiversité microbienne des laits crus et des fromages au lait cru ont permis une prise de conscience des producteurs autour de son importance pour la technologie fromagère et la typicité de leurs fromages. Des producteurs ont déjà modifié leurs pratiques pour mieux préserver la biodiversité microbienne de leurs fromages, ambitionnant d'en faire l'outil de la typicité de leur terroir, au-delà de la typicité générique de l'AOP à laquelle ils appartiennent.

Sanitaire

L'identification des facteurs de risque pour la contamination des fromages au lait cru par des bactéries pathogènes, à l'issue du projet de recherche « Amont Saint-Nectaire » (2017-2021) piloté par INRAE d'Aurillac et des filières AOP, a rapidement eu un premier impact, certains producteurs faisant évoluer leurs pratiques avant même la fin des travaux de recherche. Selon le président du Pôle Fromager, les résultats semblent inspirer des producteurs hors AOP et auraient des répercussions au-delà de la sécurité sanitaire des aliments, sur la santé animale, et permettraient aussi une réduction de l'usage des antibiotiques. Le rédacteur en chef de la revue « Profession Fromager » confirme que le projet « Amont Saint-Nectaire », en appréhendant la filière dans sa globalité, a permis une prise de conscience des producteurs impliqués dans le projet, sur les conséquences de certaines pratiques. Il précise que l'ODG Saint-Nectaire a déjà modifié le contenu de ses formations, ce qui montre que la prise de conscience s'est traduite par une décision collective des opérateurs. Toutefois, selon notre interlocuteur, la modification effective des pratiques prendra du temps et sera sans doute plus rapide chez les nouveaux producteurs.

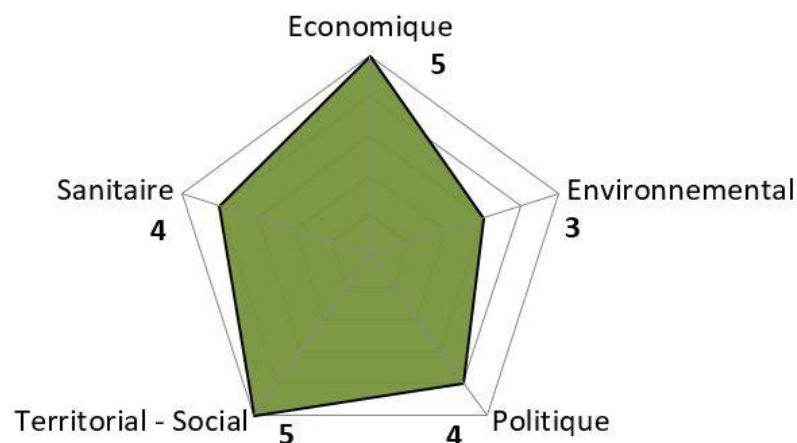
Chemin d'impact



Les impacts en résumé

Dimension d'impact	Notation de l'importance de l'impact sur 3 niveaux : faible, moyen ou fort	Résumé de chacun des impacts
Economique	5	Création du LIP, une entreprise dans le domaine des ferments d'affinages. Contribution au développement de l'activité économique liée aux filières fromagères AOP de moyenne montagne
Environnemental	3	Procédé sobre de production de ferments. Contribution au maintien des prairies naturelles du Massif Central. Réduction des pertes dans les filières fromagères AOP de moyenne montagne.
Sanitaire	4	Réduction du risque sanitaire dans les fromages au lait cru AOP du Massif Central.
Territorial-social	5	Création d'emplois dans le secteur de la production de ferments sur Aurillac. Contribution au développement de l'activité et des emplois liés aux filières de fromages AOP du Massif Central.
Politique	4	Préservation de la souveraineté des filières fromagères nationales dans le domaine des ferments d'affinage. Renforcement de leur typicité. Contribution à la reconnaissance internationale des fromages au lait cru. Via l'action du LIP, participation à l'amendement Lebec permettant d'éviter des effets néfastes sur l'industrie des ferments de la loi sur les APA. Création d'un pôle d'excellence en microbiologie à Aurillac.

IMPACTS AURILLAC



Echelle : 1-5/5

Glossaire

AOP : Appellation d'Origine Protégée

APA : « Accès aux ressources génétiques et aux connaissances traditionnelles associées et partage des avantages découlant de leur utilisation ».

CIF : Comité Interprofessionnel du Fromage

DSV : Directions départementales des Services Vétérinaires. Désormais intégrée aux « Directions Départementales de la Cohésion Sociale et de la Protection de la Population »

Enrubannage : fourrage consistant en des balles d'herbes fauchées, récoltées encore humide, compactées et emmaillottées dans un film plastique.

Gerle : récipient en bois recevant le lait cru et dans lequel s'effectue la fermentation pour la fabrication du fromage de Salers.

GIE : Groupement d'intérêt Economique

INAO : Institut National de l'Origine et de la Qualité

L2 : Laboratoire de confinement de niveau 2

LIAL : Laboratoire interprofessionnel d'Analyses Laitières.

LIP : Laboratoire Interprofessionnel de Production

ODG : Organisme de Défense et de Gestion (d'une AOP).

Pôle : Association Pôle fromager AOP Massif central

SAS : société par actions simplifiée

STEC : Shiga Toxin *Escherichia coli*. Bactérie pathogène pouvant être transmise par les aliments, hautement infectieuse et pouvant provoquer des maladies graves, particulièrement chez les jeunes enfants.

Source des données

Références

Amendement Lebec, Assemblée Nationale, 3 septembre 2018, n°1829.

Anses (2015). Appui scientifique et technique concernant l'étude de l'évolution de *Listeria monocytogenes* dans les fromages de type cantal. Avis de l'Anses en réponse à la saisine 2014-SA-0149.

Gaëlle Chazal (2022). Mieux valoriser le lait de Salers. La Montagne, 8 novembre 2022.

Codex Alimentarius (2004). Code of hygienic practice for milk and milk product. CAC/RCP 57-2004.

Pierre Le Gall (2021). Gouverner la qualité des productions fromagères en Auvergne. Thèse de doctorat de l'Université de Lyon.

Liste des entretiens réalisés.

Date	Nom	Affiliation
1 ^{er} décembre 2021	Daniel Roueyre	Directeur du LIP
1 ^{er} décembre 2021	René Lavigne	Technicien de Recherche à INRAE d'Aurillac
31 janvier 2022	Jean-Pierre Canal	Retraité, consultant, ancien directeur technique des Fromageries du Livradois.
31 janvier 2022	Michel Place	Président du LIP, retraité de l'industrie laitière.
15 février 2022	Patrice Laforce	Directeur de Lallemand LSC
8 mars 2022	Patrice Chassard	Président du Pôle Fromager, éleveur et producteur de Saint-Nectaire fermier.
5 juillet 2022	Cécilia Mourgues	Sous-Préfète du Cantal.
25 octobre 2022	Arnaud Sperat-Czar	Rédacteur en chef de la revue « Profession Fromager », président de la fondation « Université fromagère ».

Liste des documents et sites web consultés

AFSSA (2015) Avis de l'agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à une étude de l'évolution de *Listeria monocytogenes* dans les fromages AOC cantal et salers, l'évaluation des risques liés à l'utilisation de cuves en bois dans la fabrication de fromages, aux critères *Staphylococcus aureus* et entérotoxines staphylococciques dans des produits à base de lait présentant des caractéristiques traditionnelles (cas du salers).

Amendement Lebec, Assemblée Nationale, 3 septembre 2018, n°1829.

Anses (2015). Appui scientifique et technique concernant l'étude de l'évolution de *Listeria monocytogenes* dans les fromages de type cantal.

Cérou Marjolaine (2015) – Bioprotection : *Hafnia alvei* inhibe les STEC dans les fromages au lait cru. Process alimentaire 6 juillet 2015.

Chazal Gaëlle (2022). Mieux valoriser le lait de Salers. La Montagne, 8 novembre 2022.

Codex Alimentarius (2004). Code of hygienic practice for milk and milk product. CAC/RCP 57-2004.

Commission Européenne – DG Trade (2022) Informations sur les obstacles au commerce : Raw milk cheese standards – *Listeria monocytogenes*. https://trade.ec.europa.eu/access-to-markets/fr/barriers/details?barrier_id=10708&sps=true

Conseil National de l'Alimentation – Avis du 25 juin 2002 sur la compatibilité des techniques de microfiltration avec la production de fromages au lait cru. https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/dgccrf/boccrf/02_12/a0120006.htm

Le Gall Pierre (2021). Gouverner la qualité des productions fromagères en Auvergne. Thèse de doctorat de l'Université de Lyon.

Ministère de l'Agriculture (2020) Verbatim du colloque « Fromages au laits crus, entre risques et bénéfiques, la diversité au cœur du débat ». 30 janvier 2020.

Ni cru ni cuit – Le blog des aliments fermentés (2014) Comment une merveille fut sauvée de la bêtise. <https://nicrunicuit.com/le-savez-vous/le-salers-aop-comment-une-merveille-fut-sauvee-de-la-betise/>

Cette étude de cas a été réalisée par le département MICA selon la méthode ASIRPA (Analyse de l'impact sociétal de la recherche) mise au point par INRAE.

Pour en savoir plus sur la méthode : <https://www6.inrae.fr/asirpa/>

Auteur(s) principal(principaux) : **Christophe Chassard et Christophe Nguyen The**

Avec la participation de : **Sylvie Colleu**

Photo de couverture : crédit René Lavigne et collaborateurs, UMRF

Ce document est sous licence Creative Commons BY NC SA : Attribution – Utilisation non commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions.



> Pour citer ce document : Christophe Chassard, Christophe Nguyen-The, Sylvie Colleu. **Ferments d'affinage à INRAE d'Aurillac: Ecologie microbienne des fromages au lait cru**. INRAE. 2023, pp.27. (hal-03948251)

HAL: **hal-03948251**

> Contacts : asirpa@inrae.fr ou christophe.chassard@inrae.fr ou <https://www6.clermont.inrae.fr/umrf>

UMRF, Unité Mixte de Recherche sur le Fromage, INRAE