



HAL
open science

Qualité des fromages fermiers lactiques : locaux et maîtrise de l'affinage (LACTAFF)

Sabrina Raynaud, Yves Lefrileux, S. Morge, M. Pétrier, G. Allut, J. Barral, Claire Bärtschi, Cyril Chevarin, A. Dorléac, M-J Pradal, et al.

► To cite this version:

Sabrina Raynaud, Yves Lefrileux, S. Morge, M. Pétrier, G. Allut, et al.. Qualité des fromages fermiers lactiques : locaux et maîtrise de l'affinage (LACTAFF). *Innovations Agronomiques*, 2018, 63, pp.1-21. 10.15454/1.5191121702422998E12 . hal-02629259

HAL Id: hal-02629259

<https://hal.inrae.fr/hal-02629259v1>

Submitted on 27 May 2020

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Qualité des fromages fermiers lactiques : locaux et maîtrise de l'affinage (LACTAFF)

Raynaud S.¹, Lefrileux Y.², Morge S.⁴, Petrier M.³, Allut G.⁵, Barral J.⁶, Bärtschi C.¹², Chevarin C.¹³, Dorléac A.², Pradal M.-J.², Robert C.¹, Laithier C.¹, Capdeville J.¹, Blanchin J.-Y.¹, Doutart E.¹, Alaoui-Sosse L.¹, Lopez C.¹, Jean P.¹¹, Michel A.⁷, Reynaud C.⁷, Fatet E.⁷, Leroux V.³, Picque D.¹⁰, Leclerq-Perlat M.-N.¹⁰, Guillemain H.¹⁰, Auberger J.-M.¹⁰, Mirade P.-S.¹⁰, Teinturier M.⁸, Chabanon A.⁸, Anglade P.¹⁴, Birkner J.⁹, Gäüzere Y.⁹

¹ Institut de l'Elevage, 149 rue de Bercy, F-75595 Paris Cedex 12

² Station expérimentale caprine du Pradel EPLEFPA, F-07170 Mirabel

³ Chambre d'Agriculture du Cher, Centre Technique Fromager Caprin (CTFC), 2701, route d'Orléans, BP 10, F-18230 Saint Doulchard

⁴ PEP caprins Rhône-Alpes, Le Pradel, F-07710 Mirabel

⁵ Chambre Régionale d'Agriculture de Bourgogne, Centre Fromager de Bourgogne, En Poncets, F-71960 Davaye

⁶ Chambre d'Agriculture de l'Hérault, 1 Place Francis Morand, F-34700 Lodève

⁷ Actalia Produits Laitiers, Centre de Carmejane, Le Château, F-04510 Le Chauffaut Saint Jurson

⁸ Les chevriers de Nouvelle-Aquitaine & Vendée (ex-FRESYCA), 12 bis rue Saint Pierre, F-79500 Melle

⁹ ENILBIO Poligny, Rue de Versailles, F-39800 Poligny

¹⁰ INRA, 147 rue de l'Université, F-75338 Paris Cedex 07

¹¹ ENILIA-ENSMIC, Avenue François Mitterrand, F-17700 Surgères

¹² Claire Bärtschi, 1 rue Phelypeaux, Allée E, F-69100 Villeurbanne

¹³ AGC portage salarial, ZI saint Maurice CS40-63, F-04107 Manosque Cedex

¹⁴ Patrick Anglade Conseil et Formation en Fromagerie, Bonac sur Lez, F-09800 Bonac-Irazein

Correspondance : sabrina.raynaud@idele.fr

Résumé

Le programme LACTAFF (2012 – 2015) a eu pour objectif d'améliorer la maîtrise de l'affinage des fromages fermiers lactiques, technologie la plus couramment utilisée à la ferme, en fournissant des outils et des références aux producteurs et aux techniciens qui les accompagnent.

Des enquêtes menées dans 49 fermes des 6 principales régions produisant ce type de fromage ont permis de caractériser la grande diversité des fromages fabriqués, des locaux, des équipements et des pratiques et d'établir des liens entre les grandes catégories de fromages et les pratiques, locaux et conditions d'ambiance.

Par ailleurs, au laboratoire et en fromageries expérimentales, le rôle clé de l'hygrométrie a été quantifié en affinage, ainsi qu'au séchage où la vitesse d'air joue un rôle encore plus important. Les effets des paramètres d'ambiance sur la composition physico-chimique et les caractéristiques sensorielles des fromages ont été quantifiés pour un type de fromage donné.

L'expérience de spécialistes de la technologie fromagère, des locaux et des équipements de climatisation et de techniciens de terrain a été capitalisée en parallèle. Ce projet a abouti à la rédaction de fiches techniques disponibles en ligne et d'un ouvrage sur l'affinage des fromages lactiques fermiers.

Mots-clés : qualité, fromage, affinage, fromagerie, production laitière fermière

Abstract: Quality of goats lactic farmhouse cheeses: premises and ripening management (LACTAFF – project 1270)

The « LACTAFF » program (2012-2015) aimed at improving the control of goat lactic farmhouse cheese ripening, a technology frequently used by farmers, by producing tools and references for producers and the technicians guiding them.

Surveys conducted in 49 farms in the 6 main regions producing this kind of cheeses allowed to characterize the great diversity of cheeses, premises, equipment and practices, and to link cheese categories with practices, premises characteristics and air production conditions.

In laboratory and experimental dairies, the key role of humidity was quantified during ripening and during drying, in which air speed is even more important. Atmospheric parameters effects on cheeses physicochemical composition and sensory characteristics were quantified for one type of cheeses.

Specialist experience of cheese technology, premises design and climate control equipment and technician experience were capitalized at the same time. This project led to the writing of technical documents available online and a book about lactic farmhouse cheeses ripening.

Keywords: quality, cheese, maturing, dairies, farm milk production

Introduction

Dans les exploitations fermières transformant le lait de chèvre, le lait cru produit est principalement destiné à la fabrication de fromage à pâte molle mixte à dominante lactique. La maîtrise de la qualité des fromages de chèvre lactiques est décisive pour la santé économique des fermes. En effet, les producteurs fermiers vivent de la vente de leurs fromages. La qualité et dans certains cas la régularité des fromages fidélisent leur clientèle. Elles conditionnent ainsi les ventes, et en conséquence le maintien et la progression des revenus de l'éleveur, et donc la pérennité de l'exploitation. Certaines des caractéristiques associées à la qualité de ces fromages se développent essentiellement durant l'étape d'affinage sous l'action des microflores (bactéries, levures, champignons). Les fromages lactiques fermiers présentent des types de couverture de surface soit à dominante *Geotrichum* (de couleur ivoire), soit à dominante *Penicillium* (fromages de couleur bleu-vert, cette couleur étant parfois d'apparition tardive), ou mixte (co-existence des deux types de flores) (Figures 1 et 2). Le développement de ces microflores de surface, impacté par la composition du lait et les conditions environnementales des fromageries, entraîne des différences d'aspect extérieur (croûte) et intérieur (pâte) sur les fromages, mais aussi des évolutions différentes de texture, de goût, d'odeur, exprimant toute la spécificité de la production (Eck *et al.*, 1997).



Figure 1 : Fromage de chèvre lactique à couverture de surface à dominante *Geotrichum*



Figure 2 : Fromage de chèvre lactique à couverture de surface à dominante *Penicillium*

Un projet de recherche CASDAR a donc été conduit de 2012 à 2015 dans le but d'améliorer la maîtrise de cette étape d'affinage à la ferme.

Pour atteindre cet objectif, deux actions principales ont été menées :

1- Des enquêtes en ferme pour :

- Connaître les différences de conception et de modes de fonctionnement des locaux d'affinage par la mesure des paramètres d'ambiance (température, humidité relative, teneur en gaz),
- Etudier les liens existants entre la qualité mesurée des produits en fin d'affinage et les caractéristiques des fromages rentrant en affinage en fonction des pratiques des producteurs (enquêtes - action 1),

2- Des expérimentations en conditions contrôlées pour quantifier les effets des variations des paramètres d'ambiance sur l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et sur la qualité des produits (expérimentations - action 2).

Le présent article détaille les principaux résultats obtenus lors des enquêtes et des expérimentations (Raynaud *et al.*, 2016 ; Lefrileux *et al.*, 2016). Des fiches techniques et un ouvrage (Collectif, 2016) ont intégré ces résultats pour diffusion aux producteurs et aux techniciens.

1. Caractérisation des conduites d'affinage à la ferme (locaux, équipements, pratiques) et étude des liens entre les paramètres d'ambiance des locaux et la qualité des fromages (ACTION 1)

1.1 Objectif des enquêtes conduites en ferme

L'objectif de cette première action était de recenser les types de locaux d'affinage et leurs équipements, les paramètres d'ambiance associés en lien avec les pratiques mises en œuvre par les producteurs et d'en mesurer l'influence sur la qualité des produits. Cette action a été conduite en deux étapes : des suivis ponctuels dans 49 fermes (action 1-1) puis une étude approfondie dans 4 fermes pour mieux appréhender les amplitudes de variation des paramètres de l'ambiance au cours du temps au sein des locaux de séchage et d'affinage (action 1-2).

1.2 Mise en œuvre des enquêtes

49 enquêtes en ferme ont été conduites dans les 6 principales régions productrices de fromages de chèvre lactiques fermiers (Figure 3). Elles ont concerné des fermes ayant un seul hâloir et fabriquant des fromages affinés non cendrés de type palet avec 0,5 à 1,2 litres de lait par fromage. Les enquêtes ont porté sur les pratiques, les locaux et les équipements, et l'affinage d'un lot a été suivi à partir du démoulage durant 14 jours : conditions d'ambiance (température, hygrométrie, teneurs en gaz (Figure 4)), analyses physico-chimiques (extrait sec, matière grasse, indice de lipolyse, fractions azotées, taux de sel, pH), pesées, caractérisation visuelle des fromages en surface et à la coupe, fromages mis en classes à dire d'expert par les techniciens fromagers, technologues et mycologue participant au groupe de travail.

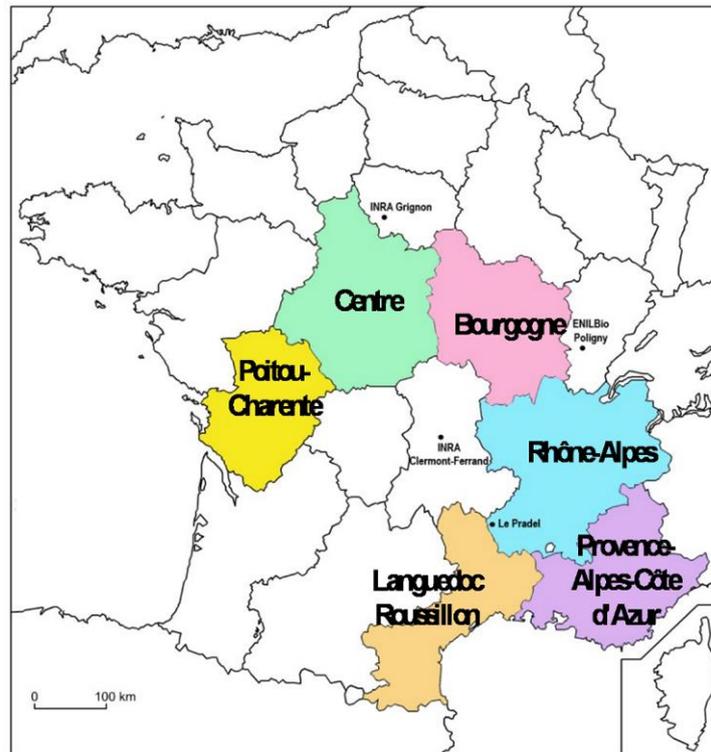


Figure 3 : Régions dans lesquelles des enquêtes ont été conduites



Figure 4 : Enregistrement des paramètres d'ambiance par un prototype développé par l'INRA GMPA Versailles-Grignon.

L'analyse de ces données a aussi permis de choisir 4 fermes aux profils différents dans lesquelles ont eu lieu les suivis approfondis de la deuxième étape (action 1-2). Des enquêtes approfondies ont été menées et ces exploitations ont été visitées pour un deuxième suivi similaire au premier, complété par une cartographie des conditions d'ambiance des locaux.

1.3 Résultats des enquêtes

1.3.1 Enquêtes grand nombre

Les 49 enquêtes ont permis de décrire la grande variabilité des locaux, équipements, pratiques et types de fromages dans les fermes.

Grande diversité des locaux, des équipements et des modes de conduite

Les types d'équipements des locaux d'affinage sont présentés en Figures 5 et 6 : 37% des exploitations ne pratiquent pas de séchage dans une pièce dédiée et 10% n'ont pas d'équipement de climatisation au séchoir (« séchoir naturel », essentiellement en Rhône-Alpes) (Figure 5). La présence d'un hâloir était une condition de participation à l'enquête ; 10% des fermes n'ont pas d'équipement de climatisation au hâloir, 16% ont un équipement statique et 74% ont un équipement dynamique (simple ou double flux) (Figure 6).

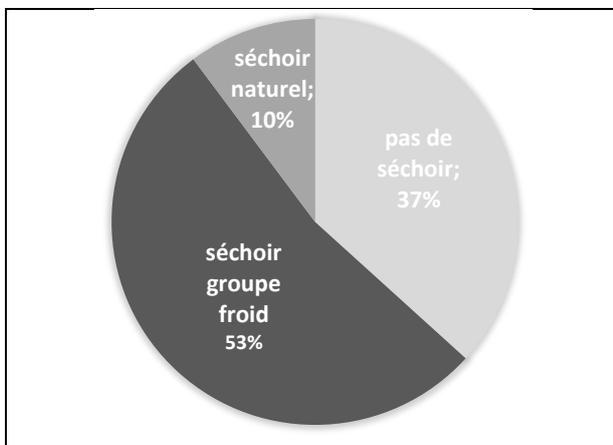


Figure 5 : Type d'équipement au séchoir dans les 49 fermes enquêtées

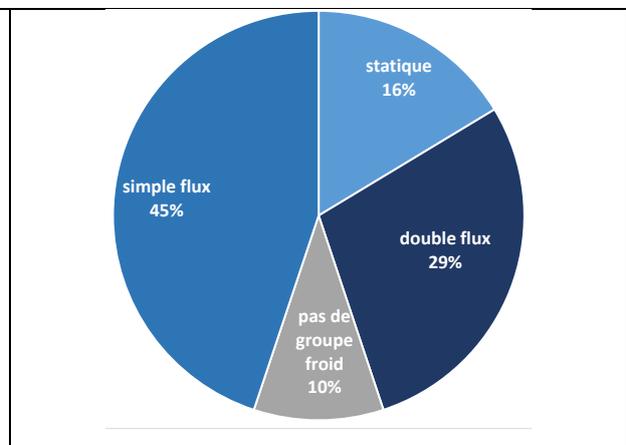


Figure 6 : Type d'équipement au hâloir dans les 49 fermes enquêtées

La taille moyenne de la salle de ressuyage – qui est le plus souvent également la salle de fabrication – est de 58 m³ (soit environ 23,2 m²). La taille moyenne de la salle de séchage est de 16 m³ (soit environ 6,4 m²) et la taille moyenne de la salle d'affinage est de 22 m³ (soit environ 8,8 m²). Le rapport entre taille du séchoir et taille du hâloir n'est pas automatiquement proportionnel. Il dépend notamment de la durée de séjour des fromages dans chaque pièce.

Une grande diversité d'itinéraires technologiques a été observée, dans la succession et la présence ou non des étapes technologiques, ressuyage-séchage-affinage (Figure 7), mais aussi dans leur durée et les conditions mise en œuvre (Figures 8 à 11).

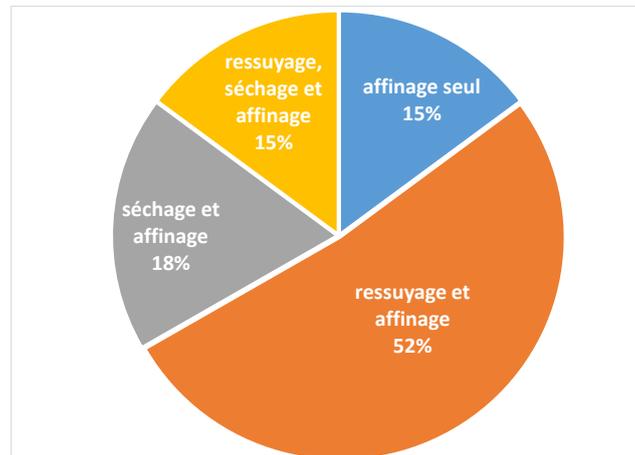
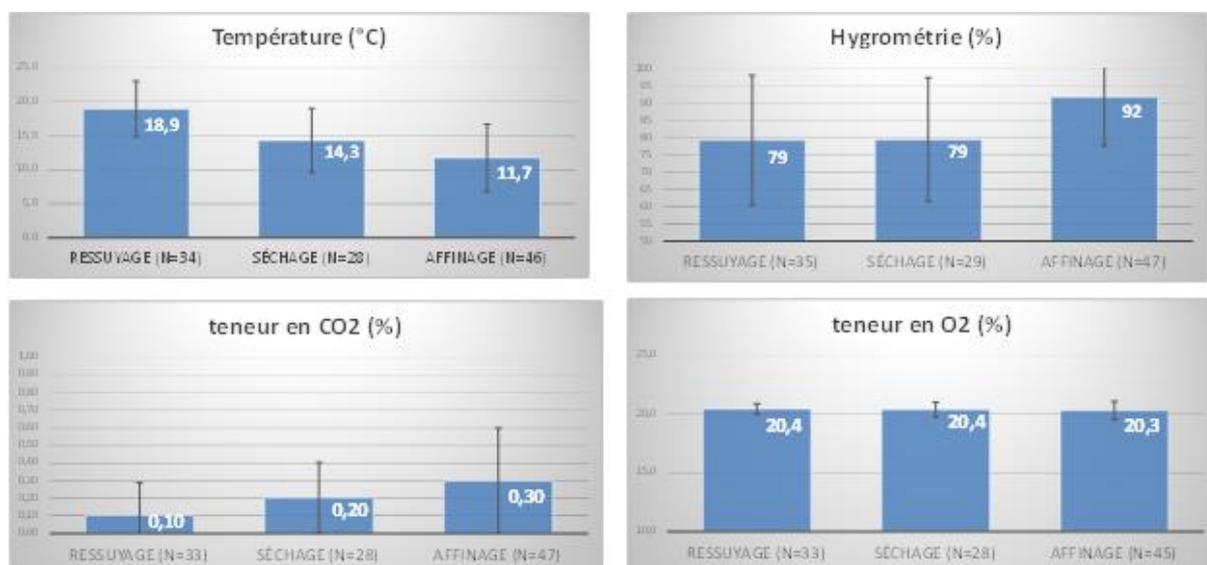


Figure 7 : Diversité des itinéraires technologiques dans les 49 fermes enquêtées



Figures 8 à 11 : Conditions d'ambiance moyennes dans les différentes pièces d'affinage dans les 49 fermes enquêtées (la barre d'erreur correspond à deux écart-types)

Mycologie de l'ambiance des locaux d'affinage

L'ensemencement du lait est majoritairement réalisé à partir du lactosérum issu de productions précédentes (74% des exploitations).

D'un point de vue qualitatif, les populations fongiques détectées par sédimentation sur boîtes de Pétri dans la salle de fabrication et les locaux d'affinage étaient identiques dans toutes les régions :

Aspergillus, *Cladosporium*, *Eurotium*, *Geotrichum*, *Mucorales* et *Penicillium* parfois *Scopulariopsis* et *Alternaria*. Le genre *Penicillium* est le plus représenté. Quantitativement, des variations importantes sont observées d'un atelier à l'autre : une forte pression de *Penicillium* est observée dans les exploitations des régions Bourgogne, Languedoc Roussillon, Rhône-Alpes et PACA. En revanche les exploitations des régions Centre, Poitou Charentes et certaines exploitations de PACA avaient des ambiances très peu chargées en flores fongiques. Le *Penicillium* est observé dans l'ambiance des salles d'affinage surtout, puis de ressuyage et enfin de séchage.

Geotrichum n'est retrouvé que dans 24 fermes au ressuyage, 11 fermes au séchoir et 11 fermes en affinage, et toujours en quantité limitée. Ces résultats suggèrent que l'origine de *Geotrichum* serait le lait chargé naturellement, les différents ferments commerciaux ou indigènes (lactosérum) utilisés par les producteurs ainsi que par les différents matériels (bacs de caillage, moules...). Mais attention l'ambiance doit participer à cet « ensemencement » à plus petite échelle bien sûr, c'est pourquoi une désinfection drastique des ambiances ne sera pas à préconiser.

Composition physico-chimique

Différentes analyses physico-chimiques ont été pratiquées sur les fromages au démoulage, en fin de séchage (c'est-à-dire à l'entrée au hâloir ou 4 jours après démoulage) et à la fin des 14 jours d'affinage (Tableau 1).

Tableau 1 : Résultats des analyses physico-chimiques réalisées sur un broyat de 5 fromages au démoulage, en fin de séchage ou à 4 jours et en fin d'affinage (14 j après démoulage dans l'étude). Les fromages ont été congelés préalablement aux analyses. La mesure de pH a été réalisée en ferme (valeur moyenne sur 3 fromages non congelés).

Critère	Valeur moyenne au démoulage (49 valeurs) et écart-type entre parenthèses	Valeur moyenne en fin de séchage ou 4 j après démoulage (49 valeurs) et écart-type entre parenthèses	Valeur moyenne 14 j après démoulage, en fin d'affinage (49 valeurs) et écart-type entre parenthèses
Extrait Sec Total (g/kg)	314 (23)	425 (79)	532 (90)
Matière Grasse (g/kg)	151 (17)	214 (46)	278 (48)
Gras sur Sec (%)	48 (2,3)	50 (2,8)	52 (2,6)
Humidité du Fromage Dégraissé (%)	80,8 (1,2)	72,8 (6,4)	64,3 (8,8)
Taux de sel dans la fraction aqueuse du fromage (%)	1,2 (0,4)	2,1 (0,8)	3,6 (1,5)
pH à cœur (unité pH)	4,3 (0,2)	Effectif 30 / fromages différents du lot suivi 4,5 (0,3)	Effectif 43 4,8 (0,5)
Lipolyse (indice)	Effectif 47 / 4,69 (1,05)	Effectif 44 / 6,86 (2,72)	Effectif 47 / 12,93 (5,29)
Azote soluble sur azote total (%)	8,5 (1,3)	10,4 (3,8)	Effectif 47 16,3 (6,4)

La composition physico-chimique moyenne des fromages prélevés dans les 49 fermes 14 jours après démoulage est proche de celles qui figurent dans les tables de composition nutritionnelle des aliments éditées par l'ANSES (tables CIQUAL, 2016), pour des fromages 26 jours après emprésurage : Extrait Sec Total (EST) 502 g/kg, Humidité du Fromage Dégraissé (HFD) de 67% et gras sur sec de 51,4% (Raynal-Ljutovac *et al.*, 2011). Les extraits secs des fromages sont proches au démoulage, mais atteignent par contre une grande variabilité 14 jours après démoulage (écart-type de 23 g/kg au démoulage et de 90,7 g/kg en fin d'affinage). Les fromages les plus secs sont aussi les plus salés (corrélation 0,8). Ces augmentations s'expliquent par les pertes de poids des fromages aux différentes étapes, pertes très variables en séchage et affinage selon les conditions de température et d'humidité mises en œuvre (Figure 12). La lipolyse et la protéolyse sont indépendantes de l'extrait sec (corrélation respectivement 0,4 et 0,002) tout en étant liées entre elles (corrélation 0,6) et sont principalement évolutives en phase d'affinage. Le pH à cœur évolue peu pour la majorité des fromages. La valeur moyenne du pH à cœur passe de 4,3 au démoulage à 4,8 après les 14 j d'affinage. En effet, les évolutions de pH ont surtout lieu en surface suite à l'action des micro-organismes désacidifiants qui s'y développent.

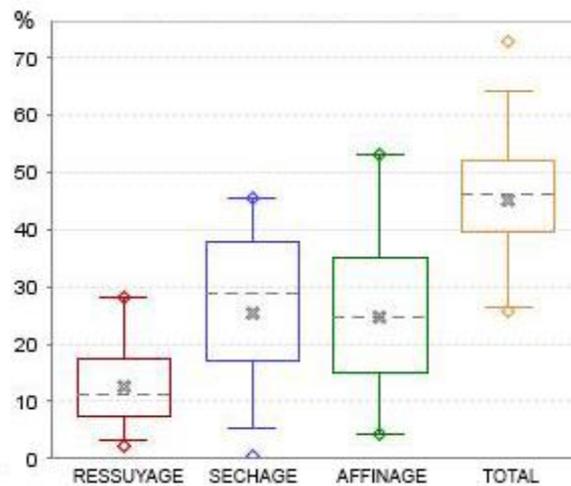


Figure 12 : « Boîte à moustache » montrant la répartition des pertes de poids pour les 49 exploitations au cours, du **ressuyage** (en pourcentage du poids au démoulage quand cette étape existe (39 données)), du **séchage** dans une pièce dédiée quand cette étape existe (en pourcentage du poids en fin de ressuyage et ou en fin de démoulage si absence de ressuyage (32 données)), de l'**affinage** (en pourcentage du poids en fin de séchage ou en fin de ressuyage si pas de séchage ou au démoulage si absence de ressuyage et de séchage (48 données)) et perte de poids **totale** (en pourcentage du poids au démoulage sur les 14 jours du suivi) [la croix représente la moyenne, les pointillés la médiane, les losanges les minimums et maximums et le rectangle contient 50% de la population]

Recherche de liens entre l'appréciation visuelle des fromages et les conditions d'affinage

Une première approche a consisté à réaliser une classification des fromages sur leur composition physico-chimique en fin d'affinage. Elle s'est avérée être peu en rapport avec l'appréciation visuelle qui en était faite par le groupe de travail de cette action.

Les techniciens et experts du groupe de travail ont donc réalisé une typologie des fromages à dire d'expert, en 5 classes décrites dans le Tableau 2. Ils se sont basés sur des photos de fromages entiers et en coupe à différents stades d'affinage, prenant donc en compte la flore de surface et la texture des fromages. Ce tableau présente aussi les compositions moyennes de chaque type de fromage et pour les 49 fermes.

Tableau 2 : Descriptif des classes d'aspect de fromages établies à dire d'expert et lien avec la composition physico-chimique des fromages (49 fermes)

Photo d'un fromage représentatif de la classe	Effectif et composition de la classe	Description à dire d'expert					
1 	12 3 en Bourgogne, 3 dans le Centre, 6 en Rhône-Alpes	BLEUS SECS					
		Fromages à couverture « <i>Geotrichum</i> , assez sec mais ayant bien poussé, avec du <i>Penicillium</i> bleu « moussieux » ».					
		EST	HFD	Sel sur eau	NS/NT	LIPO	pH
		573 g / kg	60,3 %	4,1 %	14,8 %	12,5	4,9
2 	6 3 en Bourgogne, 3 dans le Centre	BLEUS SECS (autres petits groupes)					
		Fromages à couverture « <i>Geotrichum</i> sec et assez fin ».					
		EST	HFD	Sel sur eau	NS/NT	LIPO	pH
		620 g / kg	55,2 %	5,4 %	9,7 %	9,1	4,5
3 	9 2 dans le Centre, 5 en Poitou-Charentes, 1 en Languedoc-Roussillon	BLANCS SECS					
		Fromages à couverture « <i>Geotrichum</i> vermiculé qui ne coule pas ».					
		EST	HFD	Sel sur eau	NS/NT	LIPO	pH
		509 g / kg	66,9 %	3,1 %	16,9 %	11,6	4,8
4 	11 2 en Poitou-Charente, 6 en Languedoc-Roussillon, 4 en PACA	BLANCS MOELLEUX					
		Fromages à couverture « <i>Geotrichum</i> , vermiculé et collant, avec protéolyse sous-croûte ».					
		EST	HFD	Sel sur eau	NS/NT	LIPO	pH
		449 g / kg	72,1 %	2,4 %	23,2 %	16,8	4,9
5 	11 4 en Bourgogne, 2 dans le Centre, 4 en Rhône-Alpes, 1 en PACA	BLEUS MOELLEUX					
		Fromages à couvertures « <i>Geotrichum</i> vermiculé et bleu en touffes ou tâches ».					
		EST	HFD	Sel sur eau	NS/NT	LIPO	pH
		541 g / kg	63,8 %	3,6 %	14,9 %	13,5	4,9

Composition moyenne des fromages 14 j après démoulage : EST = Extrait Sec Total (g/kg), HFD = Humidité du Fromage Dégraissé (%); sel sur eau : pourcentage de NaCl dans la fraction humide du fromage (%); NS/NT : indicateur de protéolyse, rapport azote soluble sur azote total (%); LIPO = indice de lipolyse. (en **gras grisé** : moyenne de la classe significativement supérieure à la moyenne générale au risque 5%; en italique : moyenne de la classe significativement inférieure à la moyenne générale au risque 5%).

Deux classes de fromages définies par les techniciens se distinguent nettement et sont opposées. La classe 2 regroupe les fromages les plus secs qui présentent des niveaux de protéolyse et de lipolyse les plus bas. A l'opposé, la classe 4 réunit les fromages avec l'extrait sec le plus bas et des indices de

protéolyse et de lipolyse les plus élevés. Parmi les 3 autres classes définies (1, 3 et 5), il est difficile de faire une distinction à partir des caractéristiques biochimiques. Les valeurs sont intermédiaires entre celles des classes 2 et 4.

Pertes de poids

La Figure 13 montre que les pertes de poids totales en pourcentage du poids au démoulage sont différentes d'une classe à l'autre. Les fromages des classes 3 « blancs secs » et surtout 4 « blancs moelleux » ont une moindre perte de poids (respectivement 42 et 38%) que les fromages des classes 1 et 2 « bleus secs » (53 et 50%), les fromages de la classe 5 « bleus moelleux » occupant une place intermédiaire (45 %). Néanmoins une grande variabilité intra-classe des pertes de poids peut être observée.

Les fromages « bleus secs » sont caractérisés par une perte de poids totale plus importante qui se fait surtout au séchage. La perte de poids des fromages « bleus moelleux » se fait plus au ressuyage et moins au séchage. Les fromages « blancs secs » ont une moindre perte de poids totale que les « bleus » et perdent plus en affinage et moins au séchage. Les fromages « blancs moelleux » ont une perte de poids totale moins forte, notamment au séchage et en affinage.

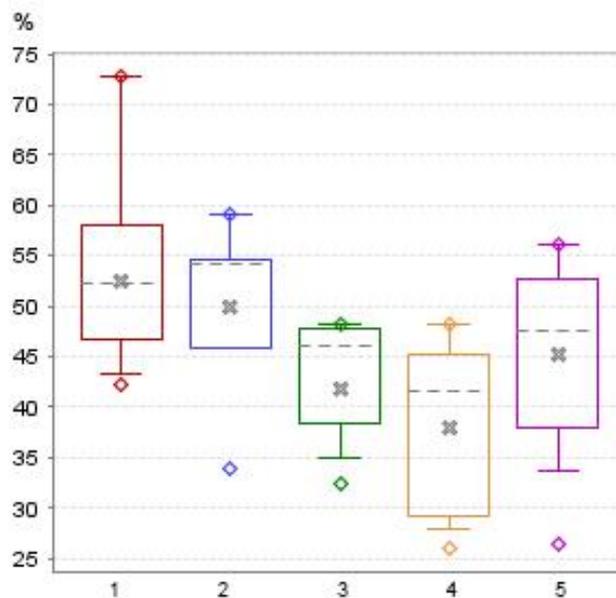


Figure 13 : Perte de poids totale cumulée durant les 14 jours d'affinage en pourcentage du poids du fromage au démoulage en fonction des classes de la typologie photo numérotées de 1 à 5 (« boîte à moustache » comportant la moyenne (croix), la médiane (pointillés), les minimums et maximums (losanges) et les quartiles – 50 % de la population est contenue dans le rectangle)

Les différences de pertes de poids entre les différentes classes durant les 14 jours d'affinage ne sont *a priori* pas dues à des différences importantes entre les extraits secs au démoulage. En effet, les fromages au démoulage ont une humidité comparable entre les différentes classes, sauf la classe 2 qui a un extrait sec supérieur.

Un lien a aussi été mis en évidence entre les pratiques des producteurs et les types de fromages (comparaison aux fréquences ou valeurs moyennes des 49 fermes) (Tableau 3).

Tableau 3 : Liens entre les locaux, les équipements et les pratiques dans les fermes et le type de fromages fabriqué (classes d'aspect (effectif de la classe entre parenthèses)). Les variables mentionnées dans ce tableau sont celles qui avaient une fréquence (variables qualitatives) ou une moyenne (variables quantitatives) significativement différentes de celle de la moyenne des 49 fermes au risque $\alpha=15\%$.

	Classe 1 (12)	Classe 2 (6)	Classe 3 (8)	Classe 4 (12)	Classe 5 (11)
	Fromages à couverture « <i>Geotrichum</i> assez sec mais ayant bien poussé, avec du <i>Penicillium</i> bleu « moussueux » ».	Fromages à couverture « <i>Geotrichum</i> sec et assez fin ».	Fromages à couverture « <i>Geotrichum</i> vermiculé qui ne coule pas ».	Fromages à couverture « <i>Geotrichum</i> , vermiculé et collant, avec protéolyse sous-croûte ».	Fromages à couvertures « <i>Geotrichum</i> vermiculé et bleu en touffes ou tâches ».
Principale origine des fromages	Rhône-Alpes		Poitou-Charente	Languedoc Roussillon et PACA	
Etapes particulières	Séchage plus long (3,9 vs 3 j)	Séchage plus long (4,7 vs 3 j)		Ressuyage plus long (2,1 vs 1,6 j)	
Salage	Plus tôt (face A 11,6 h vs 16,4 h et face B 24,5 h vs 25 h)		Plus tard (face A 21,4 h vs 16,4 h et 28 h vs 25 h face B)		
Mycologie ambiance	Plus chargées en <i>Penicillium</i> . Plus grande proportion de fromages « bleus » au hâloir	Ambiance peu chargée en <i>Penicillium</i> et présence de <i>Geotrichum</i>	Ambiance peu chargée en <i>Penicillium</i> Moindre proportion de fromages « bleus » au hâloir	Moins d'ambiances saturées en <i>Penicillium</i> au démoulage et au hâloir, moindre proportion de fromages « bleus » au hâloir	Ambiance avec du <i>Geotrichum</i> au démoulage
Locaux et conditions d'ambiance	HR plus élevée au ressuyage et en affinage, locaux de séchage et d'affinage plus chargés. Age moyen des fromages plus élevé au hâloir	Plus de hâloirs aérés, avec une hygrométrie plus basse	Moins de séchoirs Affinage : local plus grand, plus ventilé et sortie d'air, moins chargé	Moins de chargement séchoir-hâloir et fromages plus jeunes au hâloir Hâloir et séchoir moins aérés hygrométrie séchoir plus élevée	Ressuyage un peu plus froid, séchoir plus chaud et sec, moindre chargement, aéré, hâloir plus petit, hygrométrie plus élevée
Fabrication	Températures de caillage et d'égouttage plus basses	Plus de multi-moules et pré-égouttage	Caillage et égouttage plus longs et à températures plus élevées	Plus de chymosine, température plus élevée pour égouttage en moule (plus court) et ressuyage, plus de pré-égouttage court	Moins de caillage 48h
Couverture des fromages en fin de ressuyage	Plus de fromage n'ayant pas de pousse de flore en fin de ressuyage		Flore ayant poussé en fin de ressuyage		Flore ayant poussé en fin de ressuyage
Composition physico-chimique au démoulage et en fin de séchage	Fromages plus secs dès la fin du séchage et plus salés, moins protéolysés au démoulage et en fin de séchage	Fromages plus secs et plus salés dès le démoulage	Fromages plus humides au démoulage	Fromage un peu plus secs au démoulage (320 g/kg vs 313 g/kg en moyenne)	
Perte de poids moyenne sur les 14 j et par étape	Globale 53% Perte de poids moindre au ressuyage et plus importante au séchoir	Globale 50% Perte de poids plus importante au séchoir et en affinage	Globale 42% Moindre perte de poids au séchoir et perte plus importante au hâloir	Globale 38% Moindre perte de poids au séchoir et au hâloir	Globale 45% Perte de poids se fait plus en ressuyage
Composition à 14 j après démoulage	Plus secs et plus salés	Plus secs et plus salés, pH n'augmente pas, moins lipolysés et protéolysés	/	Moins secs et moins salés, plus lipolysés et protéolysés	/

1.3.2 Suivis approfondis

Les pratiques et les conditions d'ambiance se sont avérées assez variables dans le temps, et ce même pour les fermes dont les fromages étaient jugés assez proches lors des deux suivis. Certains des suivis dans ces fermes illustrent bien des éléments issus des enquêtes grand nombre : une des fermes est passée de 2 jours à 1 jour de séchage pour avoir des fromages plus moelleux et une autre a augmenté sa température de ressuyage pour favoriser le développement du *Geotrichum* pour des fromages bleus moelleux.

L'hétérogénéité des conditions d'ambiance pour un local donné, souvent citée et utilisée par les producteurs pour le placement des piles de fromages, a été illustrée par des mesures de température, d'humidité relative et de vitesse d'air dans 4 fermes (Tableau 4 et Figure 14).

Ces mesures ont, dans certains cas, permis de faire des hypothèses sur les causes d'hétérogénéité, comme la présence d'une porte non isolée, le fonctionnement asymétrique d'un évaporateur dynamique double flux...

Tableau 4 : Valeurs moyennes des paramètres de l'air mesurés au séchoir selon des plans horizontaux à différentes hauteurs, ainsi que les valeurs moyennes globales.

Ferme/ séchoir	Hauteur au sol (cm)	40 (50 pour RA7, 60 pour B4)	90	140 (120 pour B4)	190 (180 pour B4)	Moyenne
LR1	Vitesse (m/s)	0,30 (0,10 à 0,58)	0,22 (0,15 à 0,38)	0,31 (0,17 à 0,59)	0,27 (0,17 à 0,47)	0,28
B4		0,91 (0,68 à 1,06)	/	0,70 (0,26 à 1,13)	0,69 (0,33 à 0,93)	0,77
RA7		0,58 (0,20 à 0,91)	0,32 (0,17 à 1,53)	0,27 (0,19 à 0,68)	0,37 (0,14 à 0,51)	0,39
LR1	Température (°C)	11,7 (11,1 à 13,2)	11,7 (11,1 à 12,7)	11,5 (10,9 à 13)	/	11,6
B4		16,75 (16,4 à 17,1)	/	16,8 (16,2 à 17,4)	16,9 (16,3 à 18)	16,8
RA7		13,9 (13,6 à 15,1)	14,1 (13,4 à 15)	14,4 (13,7 à 15,1)	14,5 (13,8 à 15,5)	14,2
LR1	Hygrométrie (%)	84,7 (76,5 à 90,8)	84,4 (78,8 à 88,3)	84,7 (77,6 à 92,4)	/	84,6
B4		78,8 (76,1 à 81,1)	/	79 (76,7 à 81,5)	79,1 (76,6 à 80,9)	79
RA7		65,6 (53,6 à 72,7)	65,7 (59 à 74,3)	66,8 (59,1 à 72,7)	65 (58,3 à 72,8)	65,8

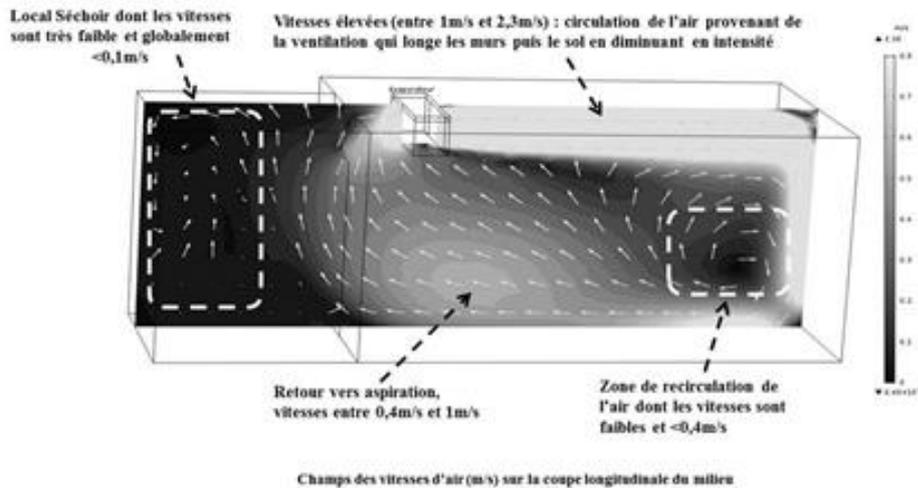


Figure 14 : Simulation numérique de l'hétérogénéité des vitesses d'air dans un hâloir et une petite pièce annexe, à partir de mesures réalisées en ferme.

1.3.3 Conclusion action 1

Ces enquêtes en ferme ont permis de caractériser les pratiques, locaux et équipements des producteurs fermiers fabricant des fromages de chèvres lactiques affinés, et d'acquérir des références, notamment en termes de pertes de poids au cours de l'affinage et de composition physico-chimiques, qui n'existaient pas pour ce type de technologie fromagère. La caractérisation des conditions d'ambiance à l'aide de prototypes enregistreurs mis au point par l'INRA a permis de connaître les niveaux de température, hygrométrie et teneur en O_2 et CO_2 , ainsi que leurs variations à l'échelle de quelques jours passés par les fromages dans les pièces. Les moyennes et écart-types des mesures de température et hygrométries ont permis de définir les conditions d'ambiance à tester dans les expérimentations de laboratoire de l'action 2 pour le séchoir et le hâloir. Les teneurs en CO_2 au hâloir se sont ainsi avérées relativement stables dans le temps et peu différentes des teneurs dans l'air. Ce critère n'a donc pas été inclus en combinaison avec température et hygrométrie dans les plans d'expérience d'affinages au laboratoire comme cela avait été initialement prévu, mais testé séparément.

2. Effets des paramètres d'ambiance dans les locaux d'affinage sur la qualité des fromages en conditions expérimentales au laboratoire et en locaux pilotes (ACTION 2)

2.1 Objectifs

Cette action avait pour objectif de quantifier au laboratoire les effets des paramètres d'ambiance (vitesse d'air, température, humidité relative, teneur en CO_2) lors du séchage et de l'affinage sur la qualité des fromages. Les valeurs des paramètres d'ambiance ont été choisies sur la base des résultats des enquêtes et des suivis de l'action 1. Une validation en locaux pilotes représentatifs des locaux fermiers (action 2-2) a permis de s'assurer, sur quelques combinaisons de paramètres d'ambiance, que la maîtrise de ces derniers est possible et que cette maîtrise permet d'observer les mêmes effets que ceux observés au laboratoire sur la qualité des produits.

La phase de ressuyage ayant souvent lieu en salle de fabrication, il est difficile d'en piloter les paramètres d'ambiance, c'est pourquoi les expérimentations ont porté uniquement sur les phases de séchage et d'affinage au hâloir. Afin de limiter les plans d'expérience à mettre en œuvre sur la durée limitée du projet, la première phase expérimentale au laboratoire n'a porté que sur un type de fromage

lactique très courant et pris comme modèle (un fromage de type Picodon) fabriqué à la station caprine expérimentale du Pradel EPLEFPA et expédié à l'INRA.

2.2 Déroulement des expérimentations au laboratoire et en fromageries pilotes

2.2.1 Expérimentations au laboratoire

Matériels et méthodes

Les essais ont été réalisés dans des dispositifs spécifiques (Figure 15) :

1) A l'INRA QuaPA Clermont-Ferrand-Theix, pour étudier plus en particulier l'étape de séchage. Les fromages ont été séchés 24 à 72 h dans des cellules de laboratoire qui permettent de fixer les niveaux de température (12 et 17°C), d'hygrométrie (75 et 85 %) et les vitesses d'air (0,15 et 0,34 m.s⁻¹), et de suivre les flux d'eau en surface et l'activité de l'eau (a_w) des fromages.

2) A l'INRA GMPA Versailles-Grignon après séchage au Pradel Les fromages ont été placés dans des cellules d'affinage une dizaine de jours. Ces cellules d'affinage permettent de fixer la température (10 et 14 °C) et l'hygrométrie (88 et 98%) et une plage de variation des teneurs en gaz (0, 2,5 et 4,5 % de CO₂). Les cinétiques de production et de consommation de CO₂ et d'O₂ par les fromages ont ainsi été estimées. Les fromages ont été régulièrement pesés, ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques (extrait sec, matière grasse, chlorure de sodium, lactose et lactate, pH cœur et surface, fractions azotées, lipolyse) en début, milieu et en fin du suivi. Leurs caractéristiques organoleptiques ont été évaluées en fin d'affinage par un jury d'analyse sensorielle (méthode de profil sensoriel à l'aide d'un panel de sujets entraînés).



Figure 15 : Dispositifs expérimentaux à l'INRA de Clermont-Theix (à gauche) et à l'INRA de Versailles-Grignon (à droite).

Résultats

Les expérimentations de séchage ont permis de montrer un effet de la température, de l'hygrométrie et surtout des vitesses d'air sur les pertes de poids des fromages, après 1, 2 ou 3 jours de séchage mettant bien en évidence l'importance de la conception aéraulique et du positionnement des piles dans les séchoirs (exemple des résultats à 2 j dans le Tableau 5). Les fromages les plus fortement séchés (dans les conditions 75% d'hygrométrie, 17°C et 0,34 m/s à 2 et 3 jours) étaient cependant assez atypiques et leur flore de surface ne se serait peut-être pas développée normalement s'ils avaient été affinés après séchage.

En ce qui concerne l'affinage, les tests ont permis de montrer un effet de la température et surtout de l'hygrométrie sur les différents paramètres physico-chimiques testés (Tableau 6) et sur la perception sensorielle des fromages.

Tableau 5 : Pourcentages de perte de poids moyen au bout de 48 h des fromages séchés en cellules expérimentales (INRA Clermont), dans différentes conditions d'ambiance (température, hygrométrie, vitesse d'air – moyenne des différentes conditions et répétitions)

Paramètre	Niveau	Perte de poids	Écart	Proba
Vitesse d'air	0,34 m·s ⁻¹	28,9 %		p<0,01
	0,15 m·s ⁻¹	19,7 %		
Hygrométrie	75 %	27,9 %		p<0,01
	85 %	20,7 %		
Température	17°C	27,0 %		p<0,01
	12°C	21,6 %		

Tableau 6 : effet des paramètres d'ambiance (température, hygrométrie) sur les analyses physico-chimiques des fromages après 12 j d'affinage en cellule expérimentale (analyse sur 3 fromages par cellule)

Paramètres	Effets de l'augmentation du niveau (température : 10 → 14°C - hygrométrie : 88 → 98%)
a_w	Pas d'effet interprétable
Extrait sec (%)	* Effet de l'hygrométrie : -7 à 8 % * Effet de la température : +4% à 88% HR * Interaction hygrométrie*température
Perte de poids (% poids départ)	Pertes qui diminuent de 9 à 16% selon température quand l'hygrométrie augmente Soit en chiffres bruts : HR 88% / T 10°C → perte de poids de 22% HR 88% / T 14°C → perte de poids de 27% HR 98% / T 10°C → perte de poids de 11% HR 98% / T 14°C → perte de poids de 12%
Critères rhéologie	* Effet de l'hygrométrie sur la dureté * Pas d'effet sur la cohésion et l'élasticité
pH surface	Effet modéré de la température à 88% (-0,4 unité pH)
Protéolyse	* Rapport azote non caséique sur azote total NNC: effet hygrométrie à 10°C (+20%) * Rapport azote non protéique sur azote total NNP: Effet de la température à 98% (+3% environ) Effet de l'hygrométrie (+ 6% environ)
Lypolyse	Effet de l'hygrométrie modéré (+2,2 à 10°C à +3 à 14°C)
Activité-respiratoire (pas de test statistique)	* Effet température: + 40% d'O ₂ consommé et de CO ₂ produit à 88% d'HR et +30% à 98% d'HR * Effet hygrométrie: + 40% d'O ₂ consommé et de CO ₂ produit

La Figure 16 illustre ces différences physico-chimiques et de perceptions sensorielles.

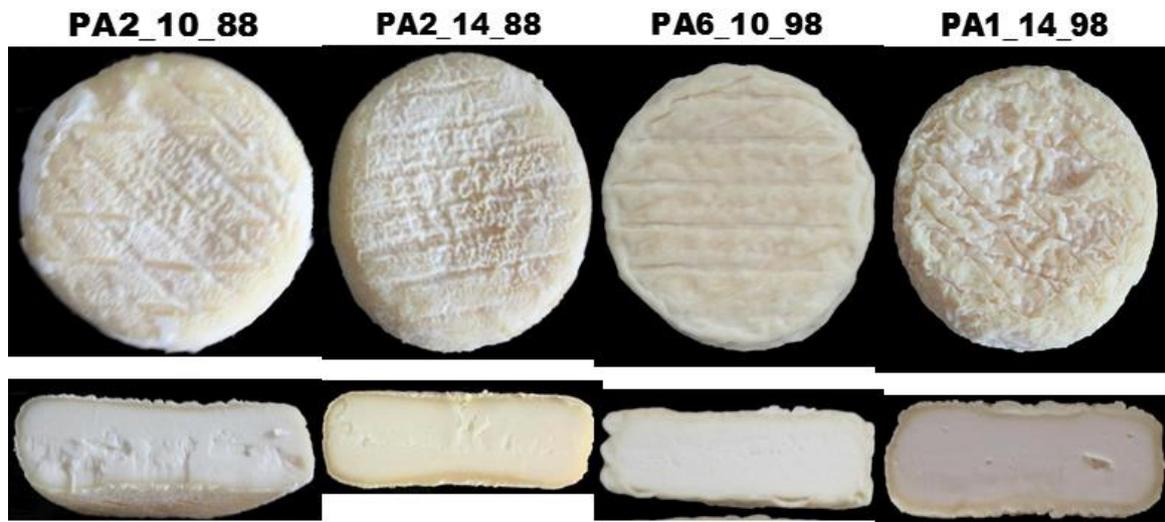


Figure 16 : Photos en vue de dessus et en coupe d'un fromage après affinage dans chacune des conditions d'ambiance testées (88% HR et 10°C, 88% HR et 14°C, 98% HR et 10°C, 98% HR et 14°C).

Aux deux humidités relatives testées (88% et 98%), l'augmentation de la température de 4°C a eu pour conséquence une augmentation de l'activité respiratoire respectivement de 40% et 30% et une augmentation plus rapide du pH de surface sur les 5 premiers jours d'affinage. Pour les autres paramètres, extraits sec, a_w , indice de lipolyse, protéolyse, les 4 °C d'écart entre les deux conditions n'ont pas induit de différence notable. L'aspect de la croûte est légèrement modifié par le changement de température.

La variation d'hygrométrie (HR), de 88% à 98%, a provoqué des modifications sur un plus grand nombre de paramètres. L'activité respiratoire augmente de 40 % aux deux températures du test ainsi que l'activité protéolytique illustrée par les fractions non caséique et non protéique. Une diminution de l'HR de 98% à 88% entraîne une augmentation de la perte de masse (du simple au double), de l'extrait sec et de la dureté des fromages. Le pH, l' a_w et l'indice de lipolyse sont peu sensibles à ces modifications d'HR. Par contre, la perception sensorielle est fortement affectée par l'HR et ce d'autant plus que la température augmente. A 88% d'HR, les fromages sont perçus comme plus durs à la découpe et en bouche, à 98%, plus humide avec un arôme lacté. A 14°C, d'autres descripteurs distinguent les fromages. A 88% d'HR, leur texture en bouche est granuleuse et pâteuse alors qu'à 98%, elle est crémeuse.

Les essais avec différents teneurs en CO₂ n'ont pas conduit à l'obtention de fromages différents tant en composition biochimique qu'en perception sensorielle.

Les étapes de séchage et d'affinage étaient étudiées séparément dans ces essais de laboratoire ; les essais en conditions réelles présentés par la suite ont permis de considérer conjointement séchage et affinage.

2.2.2 Expérimentations en fromageries pilotes

Matériels et méthode

Des expérimentations ont été conduites en fromagerie pilote à la station caprine expérimentale du Pradel EPLEFPA et à l'ENILBIO Poligny, afin de tester différentes combinaisons de conditions de séchage (24 ou 48 h, pertes de poids définies ou subies) et d'affinage (pertes de poids de 0,5 ou 1 g/j), en suivant les pertes de poids, quelques éléments de composition physico-chimique des fromages et leur aspect. Les schémas technologiques de fabrication des fromages étaient proches, mais adaptés au type de ferments employés : lactosérum au Pradel et ferments du commerce à Poligny.

Les deux essais Pradel et Poligny ont testé l'effet d'un séchage de 24 ou 48 h couplé avec un affinage plus ou moins humide (Tableau 7).

Tableau 7 : paramètres expérimentaux testés au Pradel et à Poligny

	Séchage	Affinage jusqu'à 14 j après démoulage
PRADEL	24 h à 15°C/ 65%	12°C / 88%
	24 h à 15°C/ 65%	12°C / 95%
	48 h à 15°C/ 65%	12°C / 88%
	48 h à 15°C/ 65%	12°C / 95%
POLIGNY	24 h à 16°C/ 75%	12°C / 88%
	24 h à 16°C/ 75%	12°C / 98%
	48 h à 16°C/ 75%	12°C / 88%
	48 h à 16°C/ 75%	12°C / 98%

Résultats

Au Pradel, pour le séchage, les pertes de poids à 24 h étaient d'environ 15%, et de 30 à 35% à 48 h. En affinage les fromages perdent 0,3 à 0,5 grammes par jour pour les conditions les plus humides (98%), et de 1 à 1,2 grammes par jour pour les conditions plus sèches (88%) (Figure 17 et Tableau 8). De hautes hygrométries au hâloir doivent être précédées d'un séchage conséquent, sous peine d'avoir des dégradations de produit assez rapides comme cela a été le cas des fromages séchés pendant seulement 24 h.

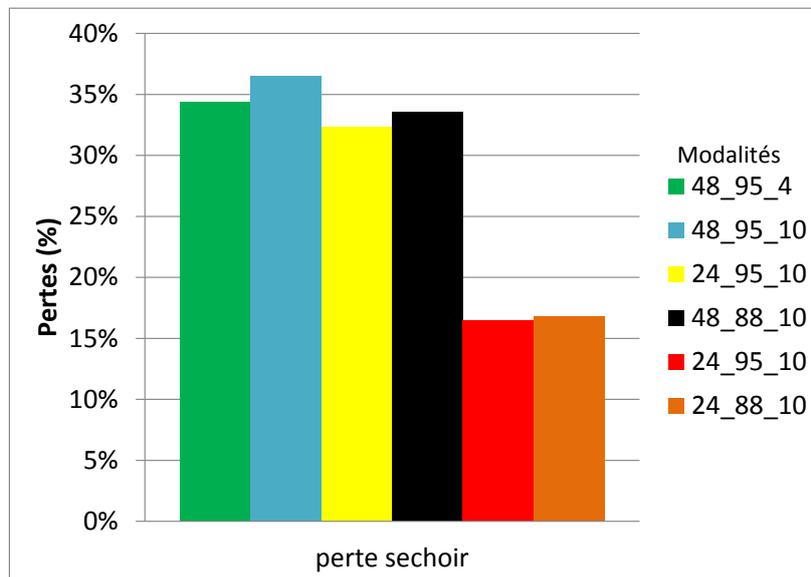


Figure 17 : Moyenne des pertes de poids en % du poids de fin de ressuyage durant la phase de séchage au Pradel (moyenne des 3 répétitions) par modalité. Le 1^{er} chiffre de la légende correspond à la durée de séchage (en heures), le deuxième chiffre à l'hygrométrie au hâloir (en %), le dernier à la vitesse d'air au séchage (à partir des valeurs du variateur de l'évaporateur, VM pour valeur moyenne et VE pour valeur élevée).

Tableau 8 : Pertes de poids de chaque répétition et en moyenne dans les hâloirs expérimentaux en gramme par jour par fromage. Le 1^{er} chiffre de la légende correspond à la durée de séchage, le deuxième chiffre à l'hygrométrie au hâloir, le dernier à la vitesse d'air au séchage (4 pour moyenne et 10 pour élevée).

Modalités	Pertes de poids moyennes aux hâloirs en g / jour / fromage					Objectifs
	FAB1	FAB2	FAB3	Moyenne des 3 fabrications	Ecart-type de ces moyennes	
48_95_4	0,334	0,680	0,332	0,449	0,164	0,5
48_88_4	1,005	1,284	1,086	1,125	0,117	1
48_95_10	0,332	0,303	0,370	0,335	0,027	0,5
48_88_10	1,047	1,063	1,055	1,055	0,007	1
24_95_10	COULURE					0,5
24_88_10	Résultats non valorisables					1

A Poligny, lors du séchage, les pertes étaient de 15% à 24 h et de 25% à 48 h, soit légèrement plus faibles qu'au Pradel du fait d'une humidité relative plus élevée. En affinage les fromages ont perdu environ 0,5 g pour 100 g de fromages dans le hâloir à l'hygrométrie la plus élevée (98%) et environ 1 g pour 100 g de fromages dans le hâloir à l'hygrométrie la plus basse (Figures 18). Un séchage court (24h) et un affinage à hygrométrie élevée (95%) contribue fortement à « dégrader » l'aspect visuel des fromages mais également accélère la protéolyse sous-croûte par une a_w qui reste trop importante.

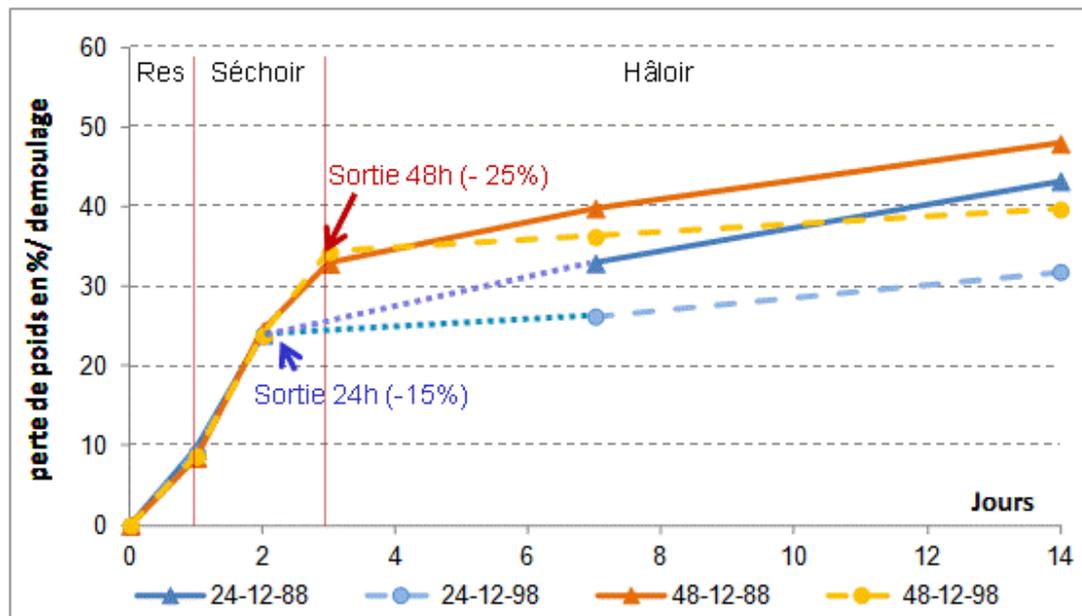


Figure 18 : Pertes de poids cumulées au cours des 14 jours d'expérimentation à Poligny (moyenne des 3 répétitions), en % du poids au démoulage

Les pertes de poids observées en atelier pilote dans des conditions d'ambiance proches de celles du laboratoire sont comparables, ce qui est une bonne validation *a posteriori* des dispositifs expérimentaux employés et permet de faire l'hypothèse que les résultats des expérimentations de laboratoire seront transposables dans les fermes.

L'écart de température mis en œuvre (4°C) a eu un effet moindre que celui de l'hygrométrie (10%). La température joue un rôle déterminant sur les développements microbiens et les processus enzymatiques mis en œuvre lors de l'affinage (Hermier *et al.*, 1992). L'humidité relative influence quant à elle la perte de poids des fromages et l'activité de l'eau (aW) à leur surface (Le Page *et al.*, 2010 ; Simal *et al.*, 2001 ; Picque *et al.*, 2009), jouant un rôle sélectif sur la croissance et l'activité des micro-organismes d'affinage (Le Page *et al.*, 2012 ; Leclercq-Perlat *et al.*, 2004). La gamme de variation de la teneur en CO₂ de l'atmosphère (0 à 4,5%) semble ne pas beaucoup jouer sur l'affinage des fromages, contrairement à ce que la bibliographie a pu montrer sur d'autres matrices fromagères (Vassal *et al.*, 1984 ; Roger *et al.*, 1998 ; Picque *et al.*, 2006 ; Le Page, 2009 ; Kiermeier et Wolfseder, 1972 a, b ; Blanc *et al.*, 1983 ; Jaros *et al.*, 2007).

En conclusion

Les enquêtes menées en ferme ont permis d'acquérir une connaissance fine des locaux, des équipements et des pratiques employés en lien avec la qualité des produits.

Les liens entre les conditions d'ambiance et la qualité du fromage ont été étudiés au laboratoire et en fromageries expérimentales. Le rôle clé de l'hygrométrie a été mis en évidence en affinage, ainsi qu'au séchage où la vitesse d'air joue cependant un rôle encore plus important. Les effets des paramètres d'ambiance sur la composition physico-chimique et les caractéristiques sensorielles des fromages ont été quantifiés pour un type de fromage donné. Le taux de CO₂ de l'ambiance s'avère peu variable dans les fermes et a peu d'effet sur la qualité des fromages. Les enquêtes ont néanmoins montré que les paramètres d'ambiance dans les locaux d'affinage sont difficiles à maîtriser à la ferme, la capitalisation de l'expérience de techniciens de terrain, de technologues et de spécialistes des locaux et des équipements pour réaliser des fiches techniques dans le cadre du programme ont donc permis de refaire le point avec des spécialistes sur cet aspect.

Les données acquises permettront aux producteurs et aux techniciens d'améliorer leurs connaissances pour un pilotage de l'affinage moins empirique. Enfin les enquêteurs, qui accompagnent au quotidien les producteurs fermiers, ont progressé en connaissance grâce à ces enquêtes et de façon générale à l'ensemble du programme.

Les connaissances acquises lors de ce programme ont été synthétisées dans un ouvrage à destination des producteurs fermiers et des techniciens qui les accompagnent (Collectif, 2016). Les techniciens de la filière fermière ont aussi pu suivre en 2016 une formation élaborée dans le cadre de ce programme.

Remerciements

Nous remercions pour leur aide les stagiaires qui ont participé aux enquêtes en ferme, aux expérimentations et à leur traitement : Annabel Aumasson, Paul Montoya, Eugénie Le Jan, Benjamin Roth, Natacha Tautou ainsi que le personnel de la station expérimentale du Pradel, de l'ENILBIO Poligny et de l'INRA Grignon et Theix.

Nous remercions vivement les éleveurs qui ont contribué activement à cette étude !

Responsables professionnels du programme : Eric Cornillon (PEP Caprins Rhône-Alpes), Frédéric Blanchard et Marc Lesty (FNEC), Marc Donneaud (MRE PACA).

Crédits photos : Mélissa Teinturier (FRESYCA), Alexane Dorléac (station caprine expérimentale du Pradel EPLEFPA), Marie-Noëlle Leclerc-Perlat, Pierre-Sylvain Mirade (INRA), Yves Gaüzere (ENILBIO Poligny), Julie Barral (Chambre d'Agriculture de l'Hérault), Sylvie Morge (PEP caprin Rhône-Alpes), Guillemette Allut (Centre Fromager de Bourgogne – Chambre Régionale d'Agriculture de Bourgogne).

Références bibliographiques

- Anses, 2016. Tables Ciqual de composition nutritionnelle des aliments. Site internet <https://pro.anses.fr/tableciqual/>.
- Blanc B., Bosset J.O., Martin B., Jimeno J., 1983. Echanges gazeux à la surface du gruyère en cours de maturation. *Schweiz. Milchw. Forsch.*, 12, p. 30-34.
- Collectif, 2016. L'affinage des fromages fermiers lactiques. Coordination Raynaud S., Lefrileux Y., Morge S., Pétrier M. Ouvrage de la collection « Les Incontournables » de l'Institut de l'Élevage. Editions Technip. 141 pages.
- Eck A., Gillis J.C., Hermier J., Lenoir J., Weber F., 1997. Le fromage, 3ème édition. Editions Lavoisier Tec&Doc, 891 p.
- Hermier J., Lenoir J., Weber F., 1992. Les groupes microbiens d'intérêt laitier. CEPIL, 569 pages.
- Jaros D., Hofmann T., Rohm H., 2007. The potential for carbon dioxide formation during ripening of acid curd cheese. *LWT Food Science and Technology*, 40 (7), p. 1140-1145.
- Kiermeier F., Wolfseder H., 1972a. Behaviour of packaged cheese. II - Effect of package losses of Camembert cheese. *Lebensm. Unters. Forsch.*, 149, p. 218-223.
- Kiermeier F., Wolfseder H., 1972b. Behaviour of packaged cheese. III - Effect of packaging on gas-metabolism of Camembert. *Lebensm. Unters. Forsch.*, 149-150, p. 75-83.
- Leclercq-Perlat M.N., Buono F., Lambert D., Latrille E., Spinnler H.E., Corrieu G., 2004. Controlled production of camembert-type cheeses. Part I : Microbiological and physicochemical evolutions. *Journal of Dairy Research*, 71, p. 346-354.
- Lefrileux Y., Picque D., Mirade P.S., Gaüzere Y., Leclercq-Perlat M.N., Guillemin H., Saint-Eve A., Auberger J.M., Le Jan E., Dorléac A., Morge S., Pradal M.J., Oliveira E., Birkner J., Doutart E., Alaoui-Sosse L., Lopez C., Raynaud S., 2016. Expérimentations sur l'affinage de fromages lactiques fermiers au lait de chèvre. Action 2 du projet « Qualité des fromages fermiers lactiques : locaux et maîtrise de l'affinage (LACTAFF). Rapport de fin d'étude collection résultats de l'Institut de l'Élevage n° 00 16 403 037. 80 p.
- Le Page J.F., Dachraoui O., Daudin J.D., Mirade P.S., 2012. Time-course estimation of evaporated water fluxes together with mean surface water activity in uncooked pressed cheeses during ripening using a purpose-built micro-bioreactor. *International Dairy Journal*, 22, p. 66-72.
- Le Page J.F., Mirade P.S., Daudin J.D., 2010. Development of a device and method for the time-course estimation of low water fluxes and mean surface water activity of food products during ripening and storage. *Food Research International*, 43, p. 1180-1186.
- Le Page J.F., 2009. Interaction entre microenvironnement gazeux et évolution physicochimique des fromages au cours de l'affinage. Thèse de doctorat de l'Université Blaise Pascal – Clermont II. 230 p.
- Nahabieh F., Schmidt J.L., 1990. Contribution à l'étude de la flore levure de quelques grands types de fromages de chèvre. *Lait*, 70, p. 325-343.
- Picque D., Guillemin H., Mirade P.S., Didienné R., Lavigne R., Perret B., Montel M.C., Corrieu G., 2009. Effect of sequential ventilation on cheese ripening and energy consumption in pilot ripening rooms. *International Dairy Journal*, 19, p. 489-497.
- Picque D., Leclercq-Perlat M.N., Corrieu G., 2006. Effects of atmospheric composition on respiratory behavior, weight loss, and appearance of Camembert-type cheeses during chamber ripening. *J Dairy Sci.*, 89(8), p. 3250-9.
- Raynal-Ljutovac K., Le Pape M., Gaborit P., Barrucand P., 2011. French goat milk cheeses : an overview on their nutritional and sensorial characteristics and their impacts on consumers' acceptance. *Small Ruminant Research*, 101, p. 64-72.
- Raynaud S., Morge S., Pétrier M., Allut G., Barral J., Enjalbert V., Reynaud C., Michel A., Fatet E., Chabanon A., Teinturier M., Gaüzere Y., Picque D., Guillemin H., Doutart E., Alaoui-Sosse L., Mirade P.S., Jean P., Lopez C., Blanchin J.Y., Laithier C., Leroux V., Aumasson A., Montoya P., 2016. Caractérisation des conduites d'affinage à la ferme et étude des liens avec les paramètres d'ambiance des locaux et la qualité des fromages. Action 1 du projet Qualité des fromages fermiers lactiques :

locaux et maîtrise de l'affinage (LACTAFF). Rapport de fin d'étude collection résultats de l'Institut de l'Élevage n° 00 16 403 014. 204 p.

Roger B., Desobry S., Hardy J., 1998. Respiration of *Penicillium camemberti* during ripening and cold storage of semi-soft cheese. *Lait*, 78 (2), p. 241-250.

Simal S., Sanchez E.S., Bon J., Femenia A., Rossello C., 2001, Water and salt diffusion during cheese ripening : effect of the externe land internal resistance to mass transfer. *J. Food Eng.*, 48, p. 269-275.

Vassal L., Gripon J.C., 1984. L'amertume des fromages à pâte molle de type Camembert : rôle de la présure et de *Penicillium caseicolum*, moyens de la contrôler. *Le Lait*, 64, p. 397-417.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL)