

Synthèse

FROMAGES FERMIERS LACTIQUES

Enquêtes et expérimentations sur l'affinage des fromages fermiers lactiques

Projet Casdar 1270 – Qualité des fromagers fermiers lactiques :
locaux et maîtrise de l'affinage (LACTAFF) 2012-2015



Source : M. Pétrier, CTFC

Cette fiche présente les principaux résultats obtenus lors du projet de recherche LACTAFF. Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme CASDAR Innovation et Partenariat, et a bénéficié du soutien financier du ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt.

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 !

En fromageries 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 de ces 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 la vente des fromages, 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 (le goût, l'odeur, l'aspect, la texture) se développent essentiellement durant l'étape d'affinage¹. Un projet de recherche a donc été conduit de 2012 à 2015 dans le but d'améliorer la maîtrise de cette étape d'affinage.

Pour atteindre cet objectif, des enquêtes en ferme et des expérimentations en conditions contrôlées ont permis :

- d'apprécier les différences de conception et de modes de fonctionnement des locaux d'affinage, de mesurer les différences et variations associées des paramètres d'ambiance (température, humidité relative, teneur en gaz) et d'étudier les liens existants avec la qualité mesurée des produits en fin d'affinage, en lien avec les pratiques des producteurs et les caractéristiques des fromages rentrant en affinage (enquêtes - action 1),
- de quantifier les effets des variations des paramètres d'ambiance sur l'évolution des caractéristiques physico-chimique et sur la qualité des produits (expérimentations - action 2).

La présente synthèse rappelle les principaux résultats obtenus lors de ces enquêtes et de ces expérimentations, mais pour plus de détails il importe de se reporter aux rapports techniques de ces actions (Raynaud *et al.*, 2016 ; Lefrileux *et al.*, 2016).



Photo 1 : prototype « sacha » développé par l'INRA, mesurant en continu la température, l'hygrométrie et la teneur en gaz à proximité des fromages lors des enquêtes en ferme

Source : M. Teinturier, FRESYCA



Photo 2 : humidificateur et dispositifs de mesure des paramètres d'ambiance dans un hâloir à la station caprine expérimentale EPLEFPA

Source : A. Dorléac, station du Pradel



Photo 3 : hâloir de la fromagerie expérimentale de l'ENILBIO de Poligny

Source : F. Buchin, ENILBIO

¹ On entendra par « affinage » toutes les étapes de la transformation partant du démoulage jusqu'à la sortie du hâloir

Les actions suivantes ont été conduites au cours de ce projet :


Action 1	Action 2
<p>Objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Décrire l'affinage des fromages lactiques à la ferme et dégager les itinéraires techniques (pratiques des producteurs, locaux, équipements et paramètres d'ambiance qui y règnent), conduisant à des types de produits donnés. 	<p>Objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quantifier en conditions contrôlées les effets des paramètres d'ambiance (température, hygrométrie, composition gazeuse, vitesses d'air) sur la qualité des produits choisis comme référence pour l'étude (type Picodon).
<p>49 enquêtes en ferme dans les 6 principales régions productrices de fromages de chèvre lactique fermiers (fermes ayant un seul hâloir, fabriquant des fromages affinés non cendrés de type palet avec 0,5 à 1,2 l de lait/fromage)</p>  <p>Enquête sur les pratiques, les locaux et les équipements (photo 1) Suivi de l'affinage d'un lot à partir du démoulage durant 14 jours (conditions d'ambiance, analyses physico-chimiques, pesées, observations). Enquêtes approfondies dans 4 fermes parmi les 49 : évolution de la conduite de l'affinage et des fromages dans le temps et dans l'espace.</p>	<p>Des expérimentations de laboratoire à l'INRA de Grignon (affinage – photo 5) et de Theix (séchage – photo 4)</p> <p>A partir de fromages fabriqués à la station caprine expérimentale du Pradel EPLEFPA</p> <p>SECHOIR (3 fromages par cellule / 4 cellules / 3 répétitions) Température 12 ou 17°C / Hygrométrie 75 ou 85% / Vitesse d'air 0,15 ou 0,34 m/s → Suivi des pertes de poids des fromages</p> <p>HALOIR (40 fromages par cellule / 2 cellules / 3 répétitions)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Température 10 ou 14°C / Hygrométrie 88 ou 98% 2. Teneur en CO₂ dans l'air : 0% ou 2,5% ou 4,5% <p>→ Suivi des pertes de poids, composition physico-chimique et qualités organoleptiques des fromages</p> <p>Des expérimentations en fromagerie pilote à la station caprine expérimentale du Pradel EPLEFPA (photo 2) et à l'ENILBIO Poligny (photo 3)</p> <p>Différentes combinaisons de conditions de SECHAGE (24 ou 48 h, pertes de poids définies ou subies) et d'AFFINAGE (pertes de poids de 0,5 ou 1 g/j) → Suivi des pertes de poids, composition physico-chimique et aspect des fromages</p>



Photo 4 : dispositif expérimental de séchage à l'INRA de Theix (unité QuaPa)
Source : P.S. Mirade, INRA



Photo 5 : dispositif expérimental à deux cellules d'affinage à l'INRA Grignon (unité GMPA)
Source : D. Picque, INRA

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)

Enquêtes grand nombre

49 suivis en ferme ont été valorisés sur les 51 réalisés. Ces enquêtes ont permis de décrire la grande variabilité des locaux, équipements, pratiques et types de fromages dans les fermes. Par exemple, une grande diversité d'itinéraires technologiques a été observée, dans la succession et la présence ou non des étapes technologiques (figure 1), mais aussi dans leur durée. A noter que le type de ferment utilisé est majoritairement le lactosérum (74% des exploitations).

Composition physico-chimique

Différentes analyses physico-chimiques ont été pratiquées à l'ENILBIO de Poligny et au laboratoire LARF-ACTALIA de Mamirolles 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 (tableau 1).

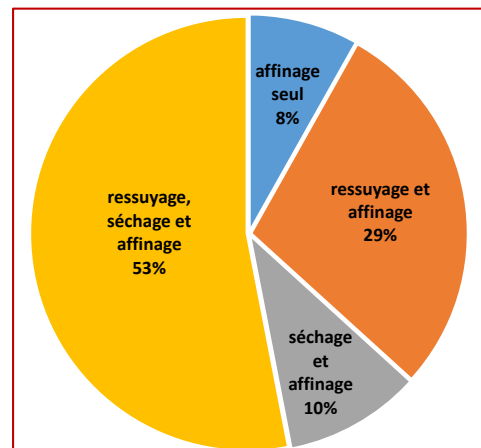


Figure 1 : diversité des itinéraires technologiques dans les 49 fermes enquêtées

Tableau 1 : résultats des analyses physico-chimiques réalisées sur un broyat de 5 fromages au démoulage, en fin de séchage ou à 4 j 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
EST (g/kg)	314 (23)	425 (79)	532 (90)
MG (g/kg)	151 (17)	214 (46)	278 (48)
G/S (%)	48 (2,3)	50 (2,8)	52 (2,6)
HFD (%)	80,8 (1,2)	72,8 (6,4)	64,3 (8,8)
Sel/eau (%)	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)
NS/NT (%)	8,5 (1,3)	10,4 (3,8)	16,3

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 CIQUAL 26 jours après emprésurage : EST 502 g/kg, 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), certaines valeurs extrêmes approchant celles d'un fromage à pâte dure. Les fromages les plus secs sont aussi les plus

salés (corrélation 0,8). 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). 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.

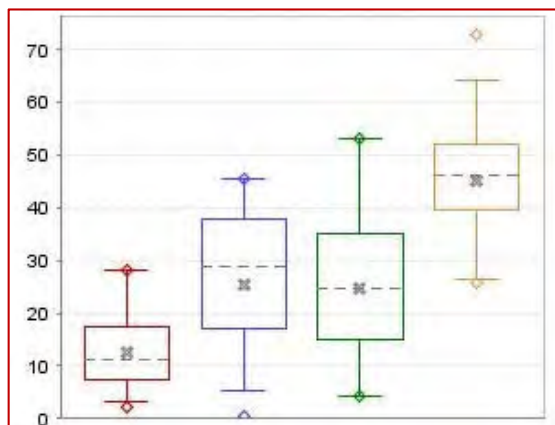


Figure 2 : « boîte à moustache » montrant la répartition des pertes de poids pour les 49 exploitations, au cours du **ressuyage** en pourcentage du poids au démoulage quand cette étape existe (en rouge, 39 données), au cours du **séchage** dans une pièce dédiée quand cette étape existe en pourcentage du poids en fin de ressuyage et ou en fin de démoulage si absence de ressuyage (en bleu, 32 données), au cours 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 (en vert, 48 données) et **perte de poids totale** en pourcentage du poids au démoulage sur les 14 jours du suivi (en orange) [la croix représente la moyenne, les pointillés la médiane, les losanges les minimums et maximums et le rectangle contient 50% de la population]

Grande diversité des locaux et des équipements

Les types d'équipements des locaux d'affinage sont présentés en figures 3 et 4 : 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). 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).

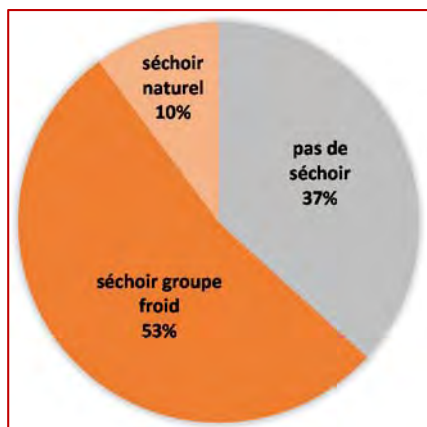


Figure 3 : type d'équipement au séchoir dans les 49 fermes enquêtées

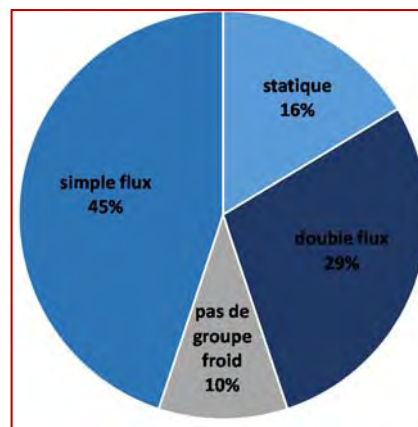


Figure 4 : type d'équipement au hâloir dans les 49 fermes enquêtées

La taille moyenne de la salle de ressuyage – qui est le plus souvent 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.

Mycologie de l'ambiance des locaux d'affinage

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. En ce qui concerne le *Geotrichum*, il n'est retrouvé que dans 24 fermes au ressuyage, 11 fermes au séchoir et 11 fermes en affinage, et toujours en quantité limitée. Suite à ces résultats, on peut donc penser que l'ensemencement de *Geotrichum* se fait essentiellement par 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.

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, qui 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 de l'action ont réalisé une typologie des fromages à dire d'expert, en 5 classes décrites au tableau 2. 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 (49 fermes)
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 vert : moyenne de la classe significativement supérieure à la moyenne générale au risque 5% ;
en bleu : moyenne de la classe significativement inférieure à la moyenne générale au risque 5%)











Photo d'un fromage représentatif de la classe	Effectif et composition de la classe	Description à dire d'expert					
	12 	BLEUS SECS					
		Fromages à couverture « <i>Geotrichum</i> assez sec mais ayant bien poussé, avec du <i>Penicillium</i> bleu « mousseux » »					
		EST	HFD	Sel sur eau	NS/NT	LIPO	pH
		573 g / kg	60,3 %	4,1 %	14,8 %	12,5	4,9
	6 	BLEUS SECS (autre petit groupe)					
		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

Photo d'un fromage représentatif de la classe	Effectif et composition de la classe	Description à dire d'expert												
	<p>8</p> 	<p>BLANCS SECS</p> <p>Fromages à couverture « <i>Geotrichum</i> vermiculé qui ne coule pas »</p>												
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>EST</th> <th>HFD</th> <th>Sel sur eau</th> <th>NS/NT</th> <th>LIPO</th> <th>pH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>509 g / kg</td> <td>66,9 %</td> <td>3,1 %</td> <td>16,9 %</td> <td>11,6</td> <td>4,8</td> </tr> </tbody> </table>	EST	HFD	Sel sur eau	NS/NT	LIPO	pH	509 g / kg	66,9 %	3,1 %	16,9 %	11,6	4,8
		EST	HFD	Sel sur eau	NS/NT	LIPO	pH							
509 g / kg	66,9 %	3,1 %	16,9 %	11,6	4,8									
	<p>12</p> 	<p>BLANCS MOELLEUX</p> <p>Fromages à couverture « <i>Geotrichum</i>, vermiculé et collant, avec protéolyse sous-croûte »</p>												
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>EST</th> <th>HFD</th> <th>Sel sur eau</th> <th>NS/NT</th> <th>LIPO</th> <th>pH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>449 g / kg</td> <td>72,1 %</td> <td>2,4 %</td> <td>23,2 %</td> <td>16,8</td> <td>4,9</td> </tr> </tbody> </table>	EST	HFD	Sel sur eau	NS/NT	LIPO	pH	449 g / kg	72,1 %	2,4 %	23,2 %	16,8	4,9
		EST	HFD	Sel sur eau	NS/NT	LIPO	pH							
449 g / kg	72,1 %	2,4 %	23,2 %	16,8	4,9									
	<p>11</p> 	<p>BLEUS MOELLEUX</p> <p>Fromages à couvertures « <i>Geotrichum</i> vermiculé et bleu en touffes ou tâches »</p>												
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>EST</th> <th>HFD</th> <th>Sel sur eau</th> <th>NS/NT</th> <th>LIPO</th> <th>pH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>541 g / kg</td> <td>63,8 %</td> <td>3,6 %</td> <td>14,9 %</td> <td>13,5</td> <td>4,9</td> </tr> </tbody> </table>	EST	HFD	Sel sur eau	NS/NT	LIPO	pH	541 g / kg	63,8 %	3,6 %	14,9 %	13,5	4,9
		EST	HFD	Sel sur eau	NS/NT	LIPO	pH							
541 g / kg	63,8 %	3,6 %	14,9 %	13,5	4,9									

Pour mémoire ci-dessous les moyennes générales des différents critères pour les 49 fermes à l'issue des 14j du suivi :

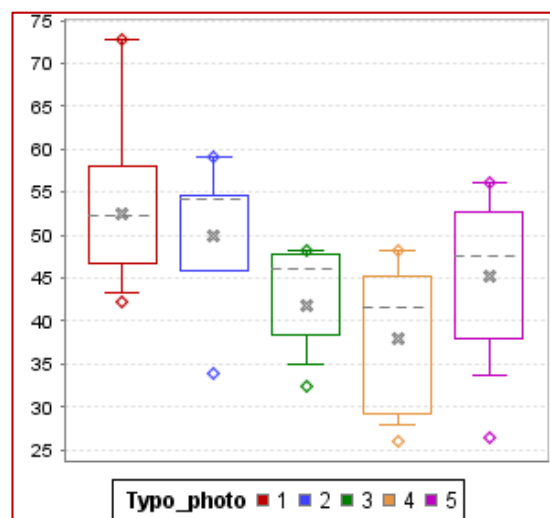
EST	HFD	Sel sur eau	NS/NT	LIPO	pH
533 g / kg	64,3 %	3,6 %	16,3 %	13	4,9

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 5 montre que les pertes de poids totales en pourcentage du poids au démoulage sont différentes d'une classe à l'autre de la typologie sur l'aspect des fromages : 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.

Figure 5 : 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 (« boîte à moustache » comportant la moyenne (croix), la médiane (pointillés), les minimums et maximums (losanges) et les quartiles (bords inférieur et supérieur des rectangles) – 50 % de la population est contenue dans le rectangle)



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 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.

Les différences de pertes de poids entre les différentes classes durant les 14 jours d'affinage ne sont a priori pas dues à de différences importantes entre les extraits secs au démoulage. Les fromages au démoulage ont une humidité comparable entre les différentes classes, sauf peut-être 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) <i>Fromages à couverture « Geotrichum assez sec mais ayant bien poussé, avec du Penicillium bleu « mousseux » »</i>	Classe 2 (6) <i>Fromages à couverture « Geotrichum sec et assez fin »</i>	Classe 3 (8) <i>Fromages à couverture « Geotrichum vermiculé qui ne coule pas »</i>	Classe 4 (12) <i>Fromages à couverture « Geotrichum, vermiculé et collant, avec protéolyse sous-croûte »</i>	Classe 5 (11) <i>Fromages à couvertures « Geotrichum vermiculé et bleu en touffes ou tâches »</i>
Principale origine des fromages	Rhône-Alpes		Poitou-Charente	Languedoc Roussillon et PACA	
Etapas particulière	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 (voir annexe 8)	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	Plus de multi-moules et pré-égouttage	Caillage et égouttage plus longs et à	Plus de chymosine, température	Moins de caillage 48h

	Classe 1 (12) <i>Fromages à couverture « Geotrichum assez sec mais ayant bien poussé, avec du Penicillium bleu « mousseux » »</i>	Classe 2 (6) <i>Fromages à couverture « Geotrichum sec et assez fin »</i>	Classe 3 (8) <i>Fromages à couverture « Geotrichum vermiculé qui ne coule pas »</i>	Classe 4 (12) <i>Fromages à couverture « Geotrichum, vermiculé et collant, avec protéolyse sous-croûte »</i>	Classe 5 (11) <i>Fromages à couvertures « Geotrichum vermiculé et bleu en touffes ou tâches »</i>
	d'égouttage plus basses		températures plus élevées	plus élevée pour égouttage en moule (plus court) et ressuyage, plus de pré-égouttage court	
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	

Suivis approfondis

Des enquêtes approfondies ont été menées entre juillet et décembre 2014 dans 4 exploitations qui faisaient partie de l'enquête grand nombre et ont été visitées pour un deuxième suivi similaire au premier, complété par une cartographie des conditions d'ambiance des locaux. Elles ont concerné les régions Bourgogne, Centre, Languedoc Roussillon et Rhône-Alpes. Les exploitations ont été choisies sur la base du volontariat, de façon à illustrer la conduite d'affinage pour différents types de fromages, avec différents types de locaux et d'équipements de climatisation.

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.

La description de ces fermes fera l'objet d'une fiche « cas concrets ». Certains des suivis dans ces fermes illustraient en effet 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 bleu moelleux.

L'hétérogénéité des conditions d'ambiance pour un local donné, souvent citée et utilisée par les producteurs, a été illustrée par des mesures réalisées par l'INRA de Theix dans les 4 fermes en suivi approfondi (exemple de la vitesse d'air en figure 6). 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 double flux...

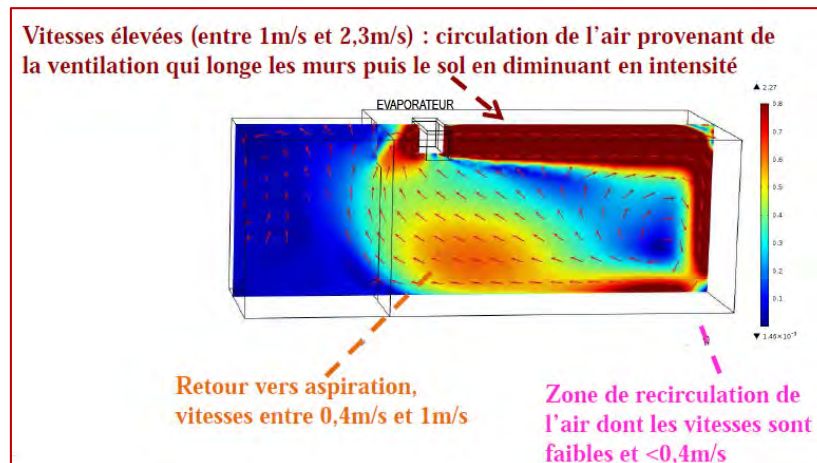


Figure 6 : simulation numérique de l'hétérogénéité des vitesses d'air dans un hâloir et une petite pièce annexe, à partir de mesures réalisées en ferme

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-chimique, 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 O₂ et CO₂, ainsi que leurs variations à l'échelle des quelques jours passés par les fromages dans les pièces. Les moyennes et écart-types des mesures de température et hygrométrie 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 CO₂ 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.

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)

Expérimentations INRA de Clermont et Grignon pour des fromages de type Picodon

Les expérimentations concernant le séchage menées à Clermont Theix 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 (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.

Tableau 5 : pourcentages de pertes 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)

Paramètres	Niveau	Perte de poids	Ecart	Proba
Vitesse d'air	0,34 m·s ⁻¹	28,9%	↷ 9,2 pts	p<0,01
	0,15 m·s ⁻¹	19,7%		
Hygrométrie	75%	27,9%	↷ 7,2 pts	p<0,01
	85%	20,7%		
Température	17° C	27,0%	↷ 5,4 pts	p<0,01
	12° C	21,6%		

En ce qui concerne l'affinage, les tests conduits à Grignon 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 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)

Paramètres	Effets de l'augmentation du niveau (température : 10 → 14°C - hygrométrie : 88 → 98%)
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 7 illustre ces différences physico-chimiques et de perceptions sensorielles.



Figure 7 : 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 de 40% et 30% respectivement 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 les 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 ceux 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.

Concernant le 2ème essai sur l'affinage avec différentes teneurs en CO₂, il n'a pas conduit à l'obtention de fromages différents tant en composition biochimique qu'en perception sensorielle (essai non présenté en détails dans cette synthèse).

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.

Expérimentations Pradel et Poligny

L'expérimentation conduite au Pradel n'a pas permis d'étudier différents niveaux de pertes de poids au séchage pour une durée donnée comme prévu au départ (24 h ou 48 h). Les deux essais Pradel et Poligny ont donc 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%

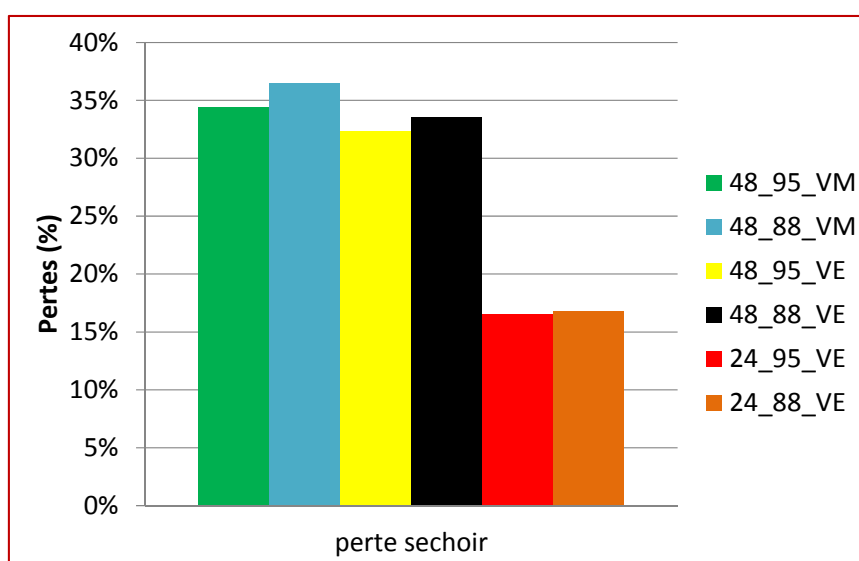


Figure 8 : moyenne des pertes de poids en % du poids de fin de ressuyage durant la phase de séchage au Pradel (moyenne des 3 répétitions). Le 1^{er} chiffre de la légende correspond à la durée de séchage (en heures), le deuxième chiffre à l'hygrométrie au hâloir (en %), le dernier à la vitesse d'air au séchage (à partir des valeurs du variateur de l'évaporateur, VM pour valeur moyenne et VE pour valeur élevée).

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%) (figures 8 et 9 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 seulement 24 h (figure 9 en haut à droite).

Tableau 8 : pertes de poids de chaque répétition et en moyenne dans les hâloirs expérimentaux en gramme par jour par fromage. Le 1er 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 (VM pour vitesse moyenne et VE pour vitesse élevée)

Modalités	Pertes moyennes de poids aux hâloirs en g/jour/fromage					Objectifs
	FAB 1	FAB 2	FAB 3	Moyennes des 3 fabrications	Ecart-type de ces moyennes	
48_95_VM	0,334	0,680	0,332	0,449	0,164	0,5
48_88_VM	1,005	1,284	1,086	1,125	0,117	1
48_95_VE	0,332	0,303	0,370	0,335	0,027	0,5
48_88_VE	1,047	1,063	1,055	1,055	0,007	1
24_95_VE	COULURE					0,5
24_88_VE	Résultats non valorisables					1

De plus, l'expérimentation au Pradel a permis de tester différentes solutions techniques pour augmenter l'hygrométrie dans un hâloir statique.

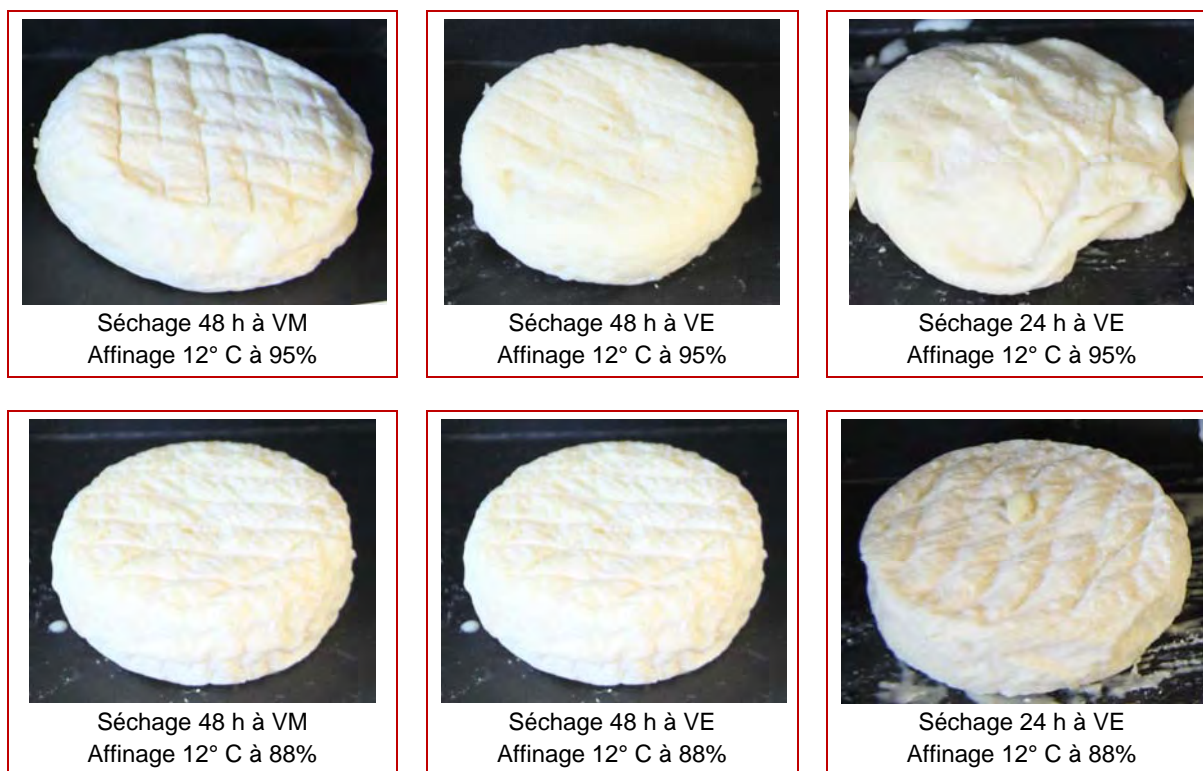


Figure 9 : photos des fromages après séchage et affinage dans les différentes conditions d'ambiance (VM = vitesse modérée) – VE (=vitesse élevée)

Source : A. Dorléac, station caprine expérimentale du Pradel EPLEFPA

A Poligny, pour le 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 élevée (figures 10 et 11). Cette différence de perte de poids contribue fortement à « dégrader » l'aspect visuel des fromages mais également accélère la protéolyse sous-croûte par une a_w qui reste trop importante. Cette dégradation n'est cependant pas allée jusqu'à une coulure des fromages comme au Pradel.

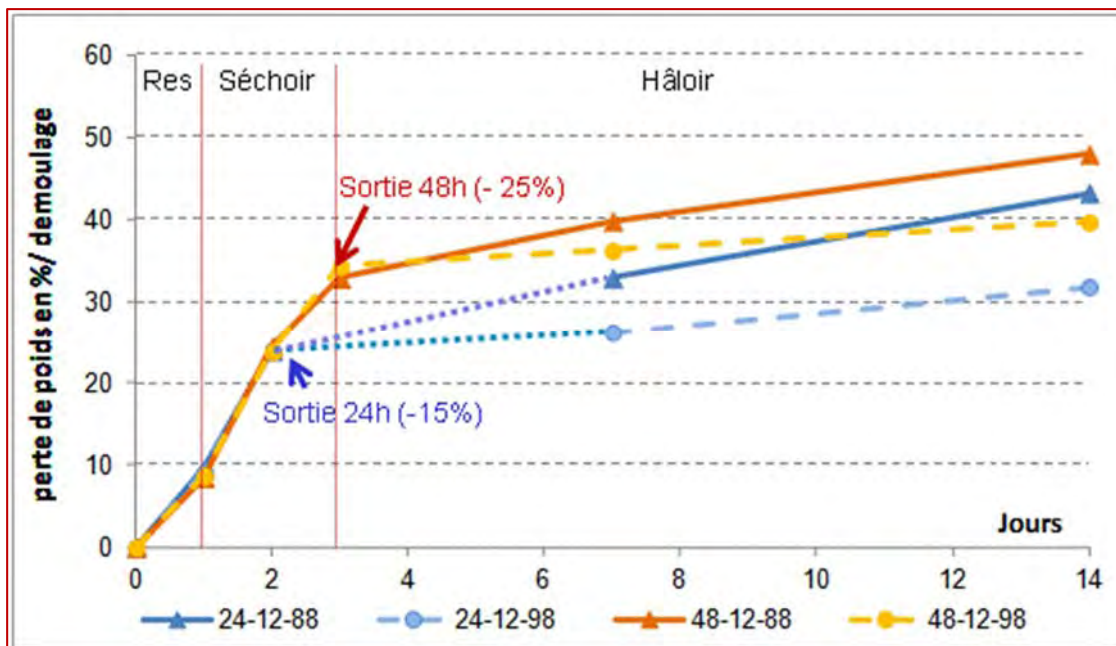


Figure 10 : pertes de poids cumulées au cours des 14 jours d'expérimentation à Poligny (moyenne des 3 répétitions), en % du poids au démoulage

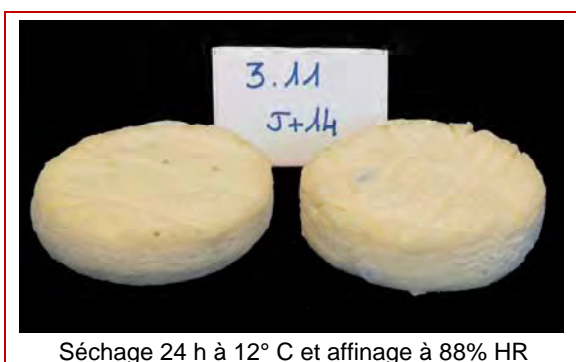


Figure 11 : photos des fromages après séchage et affinage dans les différentes conditions d'ambiance
Source : F. Buchin, ENILBIO

Les pertes de poids observées dans des conditions d'ambiance proches de celles du laboratoire sont comparables à celles obtenues au Pradel et à Poligny, 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.

Synthèse des actions 1 et 2

Un des objectifs du programme LACTAFF était d'acquérir des connaissances et des références techniques adaptées au contexte fermier, pour une technologie qui avait été peu décrite dans la bibliographie, bien que la plus courante à être utilisée à la ferme, la technologie lactique. Ces connaissances sur les matériels mis en œuvre, les itinéraires technologiques et l'évolution des fromages sont essentielles pour la maîtrise de la qualité des produits, qui conditionne la pérennité et la santé financière des exploitations fermières.

Les enquêtes menées dans 49 fermes des 6 principales régions produisant du fromage de chèvre fermier lactique ont permis de caractériser la très grande diversité des fromages fabriqués, des locaux, des équipements et des pratiques. 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). 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). Les fromages fabriqués se distinguaient par leur couverture de surface et leur texture à la coupe notamment. Leur composition physico-chimique très diverse a été caractérisée pour les critères d'extrait sec, matière grasse, pH à cœur, taux de sel, lipolyse et protéolyse. Les microflores fongiques de l'ambiance sont diverses et les équilibres de ces flores variables d'une ferme à l'autre et d'une pièce à l'autre.

Face à cette grande diversité, qui fait aussi la typicité des fromages fermiers, dégager des itinéraires technologiques conduisant à un type de fromage donné s'avère complexe. Néanmoins des liens ont pu être établis entre les grandes catégories de fromages et les pratiques, locaux et conditions d'ambiance. Ces données, complétées par l'expérience de technologues et de techniciens de terrain, ont permis de rédiger deux fiches techniques sur la gestion du croûtage des fromages (« blanc-ivoire » et « bleu »).

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 réalisation de fiches techniques dans le cadre du programme ont donc permis de refaire le point avec des spécialistes sur cet aspect (conception des locaux et des équipements de climatisation).

Les résultats de ces enquêtes et expérimentations ont été utilisés pour alimenter et illustrer les fiches techniques et la formation élaborées dans le cadre du programme LACTAFF. Les fiches techniques sont organisées selon 4 rubriques : connaissance de l'affinage, microbiologie, locaux d'affinage et équipements de climatisation (figure 11). Ces documents devraient permettre aux techniciens et aux producteurs de maîtriser l'affinage des fromages lactiques de façon moins empirique.

Ce travail d'enquête et d'expérimentation, ainsi que les échanges qui ont eu lieu lors de la rédaction des fiches techniques, ont aussi permis d'enrichir l'expérience des spécialistes de divers horizons et des techniciens de terrain qui ont participé à l'étude. Tous pourront mettre de nouvelles connaissances à disposition des producteurs qu'ils accompagnent, et elles seront transmises aux membres du réseau des techniciens Produits Laitiers Fermiers animé par l'Institut de l'Élevage lors d'une formation qui a été élaborée dans le cadre du programme LACTAFF.



Figure 11 : titre et organisation des fiches techniques rédigées dans le cadre du programme LACTAFF

Références bibliographiques

- Anglade P., 1998. La fromagerie à la ferme. Editions Centre Fromager de Carmejane & Méthodes et Communication, 206 pages.
- Collectif, 2016. Fiches techniques « maîtriser l'affinage des fromages fermiers lactiques ». Clé USB éditions Institut de l'Élevage sous l'égide de l'Union Nationale des Producteurs Laitiers Fermiers. Coordination M. Pétrier (CTFC), S. Morge (PEP caprin Rhône-Alpes) et S. Raynaud (Institut de l'Élevage). 164 pages.
- Collectif, 2012. Clé USB et site internet d'accès restreint « Outil d'amélioration technologique et sensorielle des produits laitiers fermiers ORQUAL ». Coord. Cécile Laithier et Agathe Bonnes (Institut de l'Élevage) sous l'égide de la FNEC/FNPL, édition Institut de l'Élevage.

- Eck A., Gillis J.C., Hermier J., Lenoir J., Weber F., 1997. Le fromage, 3ème édition. Editions Lavoisier Tec&Doc, 891 pages.
- Institut de l'Élevage, FNEC, PEP Caprins RA, Centre Fromager de Carmejeane, CDEO, Languedoc Roussillon Elevage, CTFC, ENILBIO Poligny, ITFF, Université Claude Bernard Lyon 1, Office de l'Élevage, 2007. CD rom Guide d'appui technique sur les accidents de fromagerie à la ferme, 2ème version. Edition Technipel, Paris.
- Laithier C., Raynaud S., Bonnes A., Doutart E., Lopez C., Dumonthier P., Morge S., Barral J., Reynaud C., Lefrileux Y., Gaüzère Y., Rossignol L., Allut G., Pétrier M., Leroux V., Demarigny Y., Tormo H., Lefier D., Beuvier E., Callon C., Montel M.C., Lesty M., Anglade P., Durand G., Ray J.C., Chabanon A., Blanchard F., Lesty M., Le Ravallec P., 2011. Maîtrise de l'acidification en technologie lactique fermière. Guide d'appui technique, fiches techniques et kit de formation producteurs. Clé USB Institut de l'Élevage.
- Lefrileux Y., Picque D., Mirade P.S., Gaüzere Y., Leclercq-Perlat M.N., Guillemin H., Saint-Eve A., Auberge 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 QUALITE DES FROMAGES FERMIERS LACTIQUES : LOCAUX ET MAITRISE DE L'AFFINAGE (LACTAFF). Rapport de fin d'étude collection résultats de l'Institut de l'Élevage. En cours de publication.
- Mahaut M., Jeantet R., Brûlé G., 2000. Initiation à la technologie fromagère. Editions Tec&Doc, 194 pages.
- PEP caprins Rhône-Alpes, 2012. Connaissance des locaux d'affinage en fabrication fromagère fermière de type lactique. Rapport PEP caprins Rhône-Alpes, 50 pages.
- Raynal-Ljutovac K., Lepape 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 QUALITE DES FROMAGES FERMIERS LACTIQUES : LOCAUX ET MAITRISE DE L'AFFINAGE (LACTAFF). Rapport de fin d'étude collection résultats de l'Institut de l'Élevage. *En cours de publication.*

Collection : L'Essentiel

Equipe de rédaction : Guillemette ALLUT (CRAB-Centre Fromager de Bourgogne), Julie BARRAL (Languedoc Roussillon Elevage puis CA 34), Claire BÄRTSCHI, Cyril CHEVARIN (AGC portage salarial), Alexane DORLÉAC (station caprine expérimentale du Pradel EPLEFPA), Yves GAÜZERE (ENILBIO Poligny), Patrick JEAN (ENILIA ENSMIC), Yves LEFRILEUX, Cécile LAITHIER, Jean-Yves BLANCHIN, Jacques CAPDEVILLE et Coralys ROBERT (Institut de l'Élevage), Marie-Noëlle LECLERCQ-PERLAT (INRA), Valérie LEROUX (CA 18 – CTFC), Antoine MICHEL, Catherine REYNAUD, Emilien FATET (ACTALIA Centre de Carmejeane), Daniel PICQUE et Pierre-Sylvain MIRADE (INRA), Mélissa TEINTURIER, Agnès CHABANON (FRESYCA)

Responsables professionnels du programme : Frédéric BLANCHARD et Marc LESTY (FNEC), Eric CORNILLON (PEP Caprins Rhône-Alpes), Marc DONNEAUD (MRE PACA)

Coordination et rédaction : Marion PETRIER (CA 18 – CTFC), Sylvie MORGE (PEP Caprins Rhône-Alpes), Sabrina RAYNAUD (Institut de l'Élevage)

Mise en page : Isabelle GUIGUE (Institut de l'Élevage)

Avril 2016 - Réf. Idèle : 00 16 403 009

Dépôt légal : 2^{ème} trimestre 2016 © Tous droits réservés à l'Institut de l'Élevage

