

FROMAGES FERMIERS LACTIQUES

L'affinage : généralités



Source : G. Allut, CFB

Cette fiche a pour objectif de faire le point sur les connaissances théoriques sur l'affinage des fromages à pâte molle à dominante lactique. Cette fiche n'aborde pas l'affinage des fromages lactiques à croûte lavée (type Epoisses AOP, Langres AOP...).

Les données présentées dans cette fiche sont issues du programme de recherche LACTAFF, où des enquêtes et suivi d'affinage ont été conduits dans 49 fermes dans les 6 grandes régions françaises produisant des fromages fermiers lactiques au lait de chèvre. Ces enquêtes étaient ciblées sur des fromages de type palet de taille intermédiaire (de 0,5 à 1,2 litres de lait par fromage). Des expérimentations au laboratoire et en ferme expérimentale ont permis de compléter les données issues des enquêtes.

Définitions et objectifs

L'essentiel

L'affinage est la période pendant laquelle les fromages subissent, sous l'action des enzymes naturelles et microbiennes, des transformations physico-chimiques qui leur confèrent leurs caractéristiques organoleptiques (texture, goût, aspect). En technologie lactique, on peut considérer que l'affinage démarre dès le démoulage, c'est-à-dire après acidification et égouttage, au moment de l'implantation des microflores de surface sur les fromages. Pour cette technologie, les grandes étapes de l'affinage après démoulage sont le ressuyage (le plus souvent en salle de fabrication), le séchage (dans un séchoir le plus souvent), et l'affinage *stricto sensu* dans un hâloir.

Affiner des fromages lactiques a pour objectif de différencier la gamme de fromages par une commercialisation à différents stades d'affinage. L'affinage peut permettre aussi de vendre des fromages avec une valeur ajoutée supplémentaire ou de diversifier la gamme. Si de façon générale, un des objectifs de la transformation fromagère est de reporter le lait, ceci est d'autant plus vrai que les fromages sont vendus affinés (et non pas frais).

La conduite de l'affinage vise à obtenir le fromage souhaité en fonction du marché ciblé (par l'expression des microflores notamment : texture, couverture de surface, goût...). La maîtrise de cette étape d'affinage est souvent assez empirique en production fermière, et plus ou moins facile selon les locaux et les équipements disponibles.

Rappel sur la technologie lactique

En technologie lactique, le coagulum est formé par l'action conjointe de l'acidité produite par le métabolisme des bactéries lactiques, et de la présure (action enzymatique). On parle de technologie mixte à dominante lactique car l'acidification joue un rôle essentiel dans les caractéristiques finales du gel. À la différence de caillés à « dominante présure » comme les pâtes pressées où c'est l'action de la présure qui détermine les caractéristiques principales du coagulum, en technologie lactique, coagulation et acidification se produisent simultanément, sur une durée assez longue en général : 24 à 48 h.

Le caillé obtenu est perméable et faiblement contractile, avec une forte fermeté et une forte friabilité. Le caillé est fragile ; pour favoriser l'égouttage, il pourra exsuder son lactosérum par le seul moulage à la louche, associé à des retournements en moule réguliers, sans action mécanique importante (sauf cas du caillé pré-égoutté). Le produit perd de l'eau et de la matière sèche via le lactosérum (lactose, sels minéraux, protéines), l'extrait sec se concentre et l'activité de l'eau (a_w) diminue ce qui permet une conservation plus aisée mais limitée des produits.

Les étapes d'affinage et définition générale

L'affinage est la période pendant laquelle les fromages subissent, sous l'action des enzymes naturelles et microbiennes, des transformations physico-chimiques qui leur confèrent leurs caractéristiques organoleptiques (texture, goût, aspect). La durée, les conditions d'ambiance et les soins diffèrent selon les types de fromages. En technologie lactique, on peut considérer que l'affinage démarre dès le démoulage, c'est-à-dire après acidification et égouttage, au moment de l'implantation des microflores de surface sur les fromages (figures 1 et 2). Il comprend donc une phase de ressuyage, le plus souvent en salle de fabrication, une phase de séchage, le plus souvent dans une pièce dédiée (séchoir) et une phase d'affinage *stricto sensu* dans un hâloir. Le produit continue à s'affiner après la sortie du hâloir, sous son emballage.

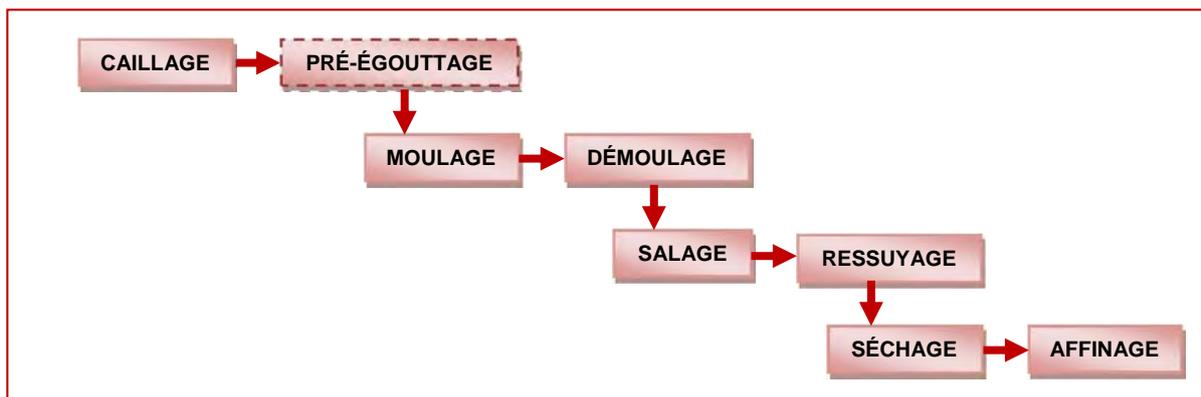


Figure 1 : étapes technologiques en transformation lactique

L'affinage est un processus complexe avec diverses réactions qui vont contribuer à élaborer le produit fini (Eck *et al.*, 1997). Différents facteurs influent sur le bon déroulement de cette phase, qu'ils soient environnementaux (température, hygrométrie, renouvellement de l'air...) ou internes au fromage (activité de l'eau, pH...). En plus d'une perte en eau, l'affinage se caractérise par une hydrolyse enzymatique. En effet, des molécules complexes (glucides, protides, lipides) vont être hydrolysées lors de l'affinage par des enzymes naturelles et microbiennes pour donner lieu à des molécules beaucoup plus simples (acides aminés, dioxyde de carbone (CO₂), ammoniac (NH₃) et ammonium, vapeur d'eau (H₂O), acides gras volatils (AGV...)). Ces réactions vont varier en fonction de la composition du substrat (fromage), de l'écosystème microbien, des soins d'affinage et des paramètres d'ambiance.

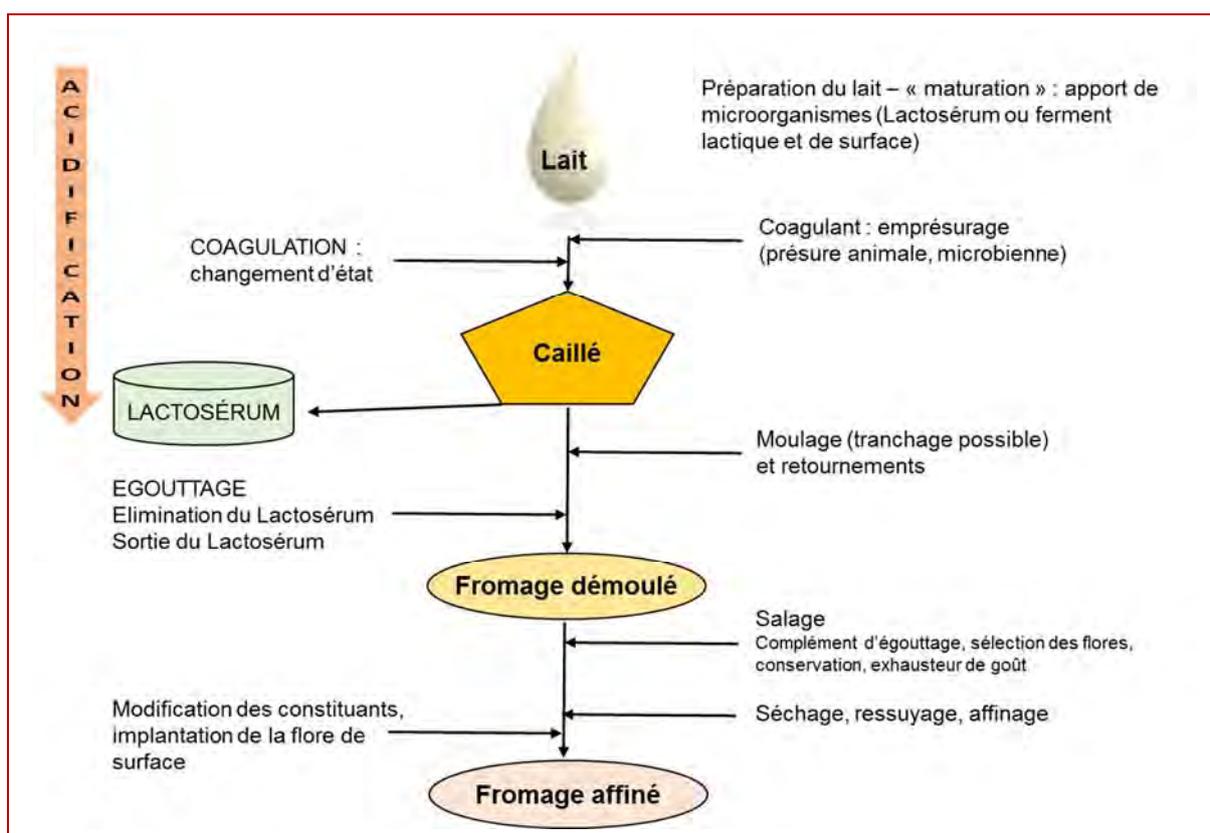


Figure 2 : les étapes du schéma technologique en transformation lactique (Laitier *et al.*, 2012)

L'affinage, en intervenant après les différentes étapes technologiques de la fabrication, va révéler ou amplifier d'éventuelles qualités ou défauts du substrat « caillé » (figure 2).

Caractéristiques d'un fromage lactique au démoulage

Le fromage démoulé (photo 1) est encore très humide et contient des sucres résiduels tels que le lactose, galactose, glucose, des substrats acides (essentiellement lactates, citrates), de la matière grasse et des protéines (caséines). Il a un goût peu prononcé et une flore de surface rarement visible. Au démoulage, le fromage est salé (parfois en moule pour l'une des faces).



Photo 1 : Fromage démoulé
Source : A. Chabanon, FRESYCA

Ce fromage est acide (en moyenne 4,3 unités pH pour les fromages au démoulage dans les 49 enquêtes LACTAFF), et son pH doit donc remonter (notamment grâce aux levures et au *Geotrichum*), de la surface vers le cœur pour permettre le développement des microflores de surface moins acidophiles (*Penicillium*, bactéries d'affinage...). L'ensemble de ces microflores est responsable des transformations d'aspect, de goût et de texture... Le fromage lactique au démoulage est peu minéralisé, car il résulte d'une acidification poussée. Cette acidification va entraîner une neutralisation des charges électronégatives de la micelle qui fixaient initialement le calcium. Par conséquent, le phosphate de calcium de la micelle est dissous et passe sous forme soluble, déminéralisant la micelle de caséine et donc le caillé. Il est donc peu tamponné, la remontée du pH recherchée au début du processus d'affinage sera peu ralentie par le pouvoir tampon (voir paragraphe sur la désacidification page 7).

Dans la majorité des cas, le fromage au démoulage a été salé. Le salage a pour objectifs :

- de provoquer un complément d'égouttage et de relancer ce dernier (gérer l' a_w),
- de gérer les flores de surface et le croûtage,
- de donner du goût (exhausteur de goût),
- de favoriser la perception de certains composés d'arômes ou au contraire de masquer des arômes désagréables.

Le sel apporté en surface migre à cœur du fromage (photo 2). Le salage a aussi un effet modéré sur la texture, il a tendance à faire sécher le fromage : l'ajout d'1 g de sel fait perdre 2,5 g d'eau soit une perte de 1,5 g au total. Dans les enquêtes LACTAFF, la dose de sel mesurée par les analyses de laboratoire dans les fermes était en moyenne de 1 g / 100 g de fromage au démoulage pour tous les types de fromages (analyse sel/eau globale (pas uniquement sur la surface)) → en surface, le taux de sel est sans doute plus proche de 3% sel/eau au démoulage, sachant que le sel met 3-4 jours à migrer à cœur. La dose de sel utilisée est un paramètre important qui est souvent géré de façon empirique dans les exploitations (lors des enquêtes, peu de producteurs pouvaient donner leur dose de salage).



Photo 2 : Salage des fromages
Source : G. Allut, CFB

Les recommandations des experts :

- fromages de type *Geotrichum* : 1 à 1,5 g de sel / 100 g de fromage démoulé,
- fromages de type *Penicillium* : la dose peut être un peu supérieure (jusqu'à 2%) pour favoriser *Penicillium*.

Le moment du salage est un levier pour orienter les flores de surface : retarder le moment du salage pour favoriser le *Geotrichum* (24 h après moulage, par exemple le lendemain matin au lieu de l'après-midi) ou saler tôt pour favoriser le *Penicillium* ou ralentir le *Geotrichum* (voir fiches sur le croûtage des fromages et photos 3 et 4).



Photo 3 : Fromage 14 jours après démoulage, ayant été salé précocement, et montrant des pointes de *Penicillium*

Source : S. Morge, PEP caprins Rhône-Alpes



Photo 4 : Fromage en fin de ressuyage : le *Geotrichum* couvre déjà le fromage

Source : A. Michel, Actalia Carmejane

Les mécanismes de l'affinage

L'essentiel

Durant l'affinage, divers métabolismes vont se produire. Après l'implantation de la flore de surface et au cours de son évolution, des maturations enzymatiques (glycolyse, protéolyse et lipolyse) vont donner au fromage sa texture, ses qualités organoleptiques et sa valeur nutritionnelle typique.

Tous ces phénomènes vont être accompagnés par une perte globale de poids (perte en eau et en matières azotées...) que le producteur doit maîtriser pour atteindre ses objectifs sur son produit fini.

La perte de poids des fromages (freinte)

Au cours de son affinage, le fromage perd de l'eau mais aussi des substances azotées (sous forme d'ammoniac), des acides gras volatils... et dégage du CO₂. Cette perte totale de matière est appelée la freinte. Les producteurs de fromages lactiques y sont peu sensibilisés car ils vendent leurs fromages à la pièce et non au poids, mais ce paramètre est néanmoins à considérer lorsque les fromages doivent avoir un poids minimum en fin d'affinage (cahier des charges d'une AOP par exemple), ou si cette freinte est telle qu'elle conduit à fabriquer un nombre de fromages moindre. De plus, si la perte en eau du fromage est trop importante et/ou trop rapide, elle entraîne un dessèchement de la croûte. Pour les fromages lactiques à affiner, une perte en eau minimale doit être acceptée. Si cette perte est insuffisante, l'extrait sec du fromage ne remonte pas suffisamment pendant la phase d'affinage, ce qui risque d'entraîner un coulage sous croûte (cas extrême sur la photo 5).



Photo 5 : Cas extrême de coulage sous croûte lors d'une expérimentation à la ferme expérimentale caprine du Pradel EPLEFPA

Source : A. Dorléac, station du Pradel

Un des paramètres importants de l'affinage des fromages lactiques est la gestion de leur perte de poids : à la fois la perte totale (figure 3) et aussi la cinétique de perte de poids. L'étude LACTAFF a montré que les pertes de poids totales sont variables selon le type de fromage fabriqué (voir fiches « Croûtage « blanc-ivoire » souhaité et « bleu » souhaité »). Par exemple des fromages à couverture ivoire de type *Geotrichum*, protéolysés sous croûte 14 jours après le démoulage avaient une perte de poids moyenne de 38% sur 14 jours, alors que des fromages secs avec quelques « spots » de bleu avaient des pertes de poids totales moyennes de 50% sur la même durée.

En ce qui concerne la cinétique de perte de poids durant les 14 jours suivant le démoulage, dès 3 jours les fromages peuvent avoir perdu 5 à 30% de leur poids initial. Ainsi le moment auquel le poids est perdu et la régularité ou non de la perte de poids jouent sur l'affinage du fromage et sur les conduites à tenir pour atteindre l'objectif sur produit fini.

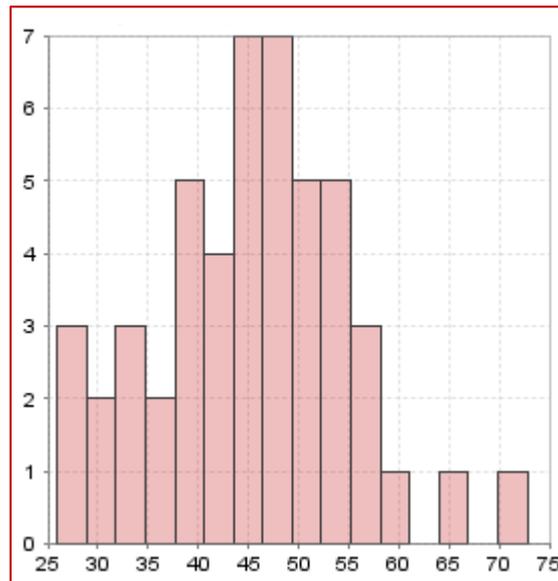


Figure 3 : perte de poids totale sur 14 jours après le démoulage pour les 49 fermes de l'enquête LACTAFF (tous les types de fromages lactiques) ; en abscisses la perte de poids totale en pourcentage du poids au démoulage et en ordonnées le nombre d'exploitations pour chaque classe de perte de poids

La perte en eau des fromages au cours de l'affinage dépend de :

- la teneur en eau totale,
- le rapport surface/volume,
- l'état de liaison de l'eau : seule l'eau libre peut s'évaporer,
- l'état de la surface et en particulier la densité de la croûte,
- des conditions d'ambiance dans lesquelles sont placés les fromages,
- des matériels utilisés aux différentes étapes.

La succession des flores microbiennes lors de l'affinage

Dès le début du ressuyage, des phénomènes biochimiques se mettent en place afin de passer d'un fromage frais à un fromage affiné (figure 4). Lors de l'affinage, les microflore présentes en surface du fromage vont agir sur la texture et le goût du fromage, mais aussi son aspect (formation de la croûte). Voir aussi la fiche « Les micro-organismes intervenant dans l'affinage des fromages à pâte lactique ».

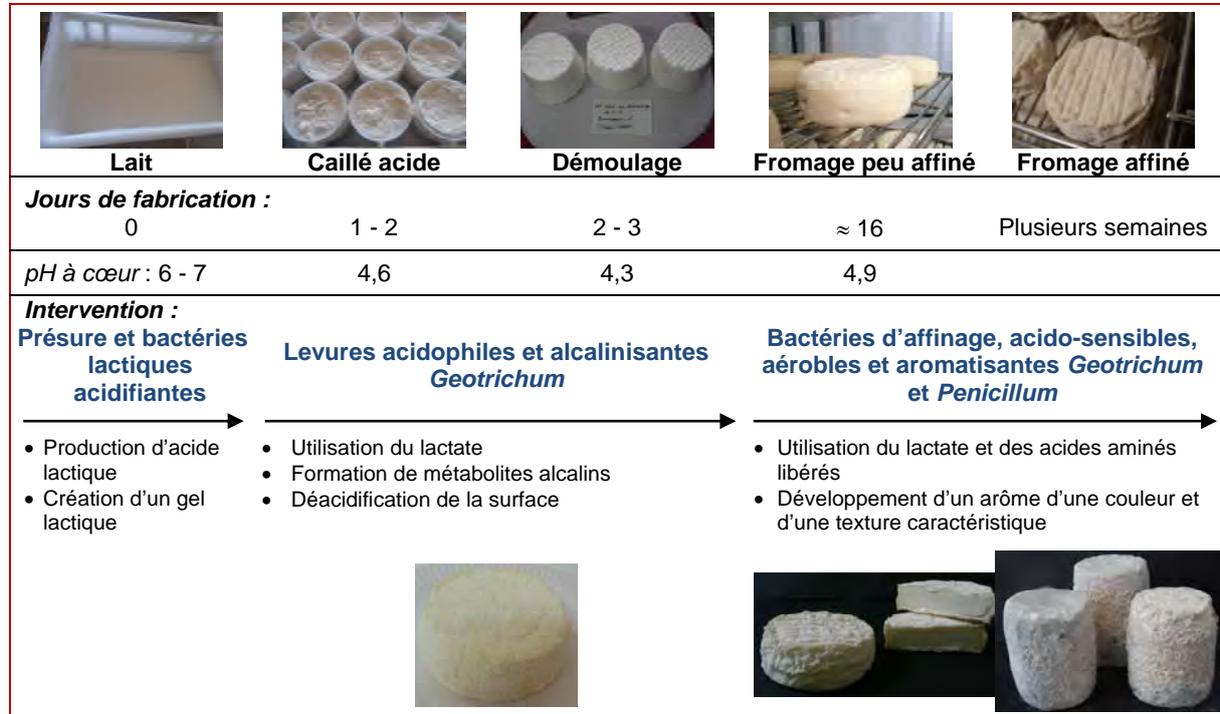


Figure 4 : succession des flores microbiennes lors de l'affinage d'un fromage lactique (d'après Irlinger *et al.*, 2007 et cours Y. Gaüzere, ENILBIO Poligny)
 Source : S. Morge, PEP caprin Rhône-Alpes ; D. Hardy, la Chèvre et M. Pétrier, CA18

La désacidification

Lors des premières étapes de la transformation, les bactéries lactiques produisent de l'acide lactique, dont sa forme saline est le lactate à partir du lactose. Les levures (dont *Geotrichum*) et moisissures consomment ce lactate comme source de carbone nécessaire à leur croissance, ce qui désacidifie le fromage. Ceci commence dès la fin de la phase d'acidification. En technologie lactique, l'affinage se fait généralement sur des périodes « courtes » comparativement à d'autres technologies. L'évolution du pH des pâtes lactiques est hétérogène entre le cœur et la croûte. Quatorze jours après démoulage, la désacidification est donc essentiellement visible au niveau de la surface du fromage (figures 5 et 6).

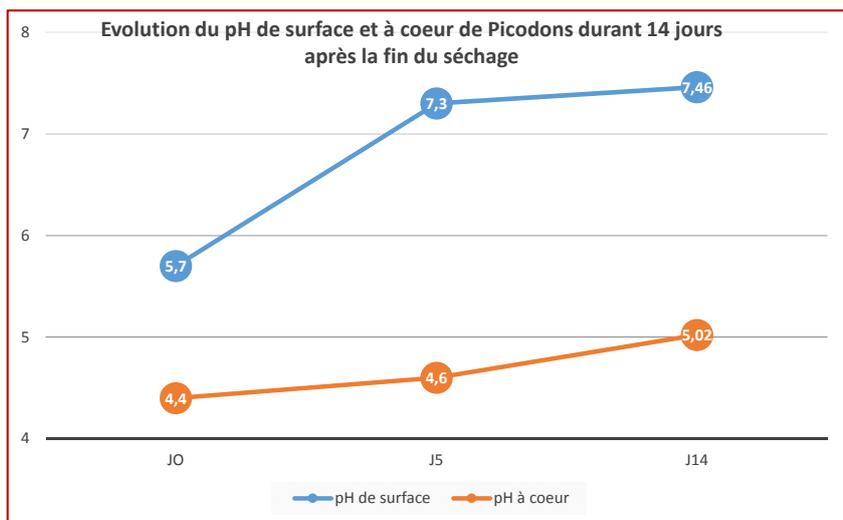


Figure 5 : évolution du pH à cœur et en surface de Picodon affinés en conditions contrôlées durant 14j après séchage (14°C et 98% d'hygrométrie au hâloir)

Le développement des levures et des moisissures va jusqu'à neutraliser la pâte en consommant l'acide lactique encore présent, permettant ainsi aux souches sensibles aux milieux acides, de s'implanter. La remontée modérée du pH de la pâte vient aussi de la production d'ammoniac par la flore de surface et de la protéolyse (la biochimie de l'affinage : *Choisy et al.*, 2006).

Le pH évolue ainsi vers des valeurs compatibles avec les actions enzymatiques responsables des transformations physico-chimiques de la pâte et du développement des microflores de surface, de la saveur et de l'arôme.

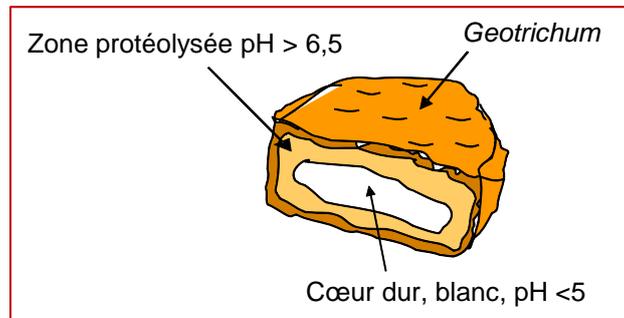


Figure 6 : évolution du pH dans un fromage lactique affiné - Source : *Laithier et al.*, 2011

Les maturations enzymatiques : la lipolyse et la protéolyse

Au cours de l'affinage, deux composants majeurs de la pâte du fromage sont modifiés par l'action des systèmes enzymatiques des microflores d'affinage, du lait et de la présure. Il s'agit des protéines et des matières grasses. La protéolyse et la lipolyse sont donc des phénomènes dominants de l'affinage. Les sucres sont aussi dégradés en cours d'affinage (glycolyse). Dans certaines conditions de pH, de température, d' a_w et si leurs quantités suffisent, les enzymes réalisent des protéolyses primaires et secondaires, des lipolyses et des fermentations de composants du lait. Ces modifications se traduisent par de profondes modifications de la composition physico-chimique du substrat et donc, de son aspect, de ses qualités organoleptiques, de sa digestibilité et de sa valeur nutritive.

D'où viennent les enzymes d'affinage ?

Les enzymes d'affinage viennent du lait et de la présure et sont essentiellement des flores d'affinage. Elles se situent dans la pâte et en surface des fromages (Le Mens, 2008). On trouve trois agents d'affinage apportant les enzymes d'affinage :

- Les enzymes naturelles du lait cru. On trouve la phosphatase alcaline, thermosensible, qui fait partie des enzymes encore peu étudiées. Il en est de même pour la phosphatase acide et la protéase acide. Les lipases hydrolysent majoritairement des acides gras courts. Elles agissent mieux sur les globules gras de petite taille, comme ceux des laits de chèvre et de brebis. Cette hydrolyse poussée donne une note plus typée aux fromages de ces animaux, comparée à l'action de ces enzymes sur les laits de vache (Mahaut *et al.*, 2000).
- La présure, notamment extraite de l'estomac (caillette) du veau, de l'agneau ou du chevreau, contient de la chymosine et la pepsine. Il reste 35% de résidu de chymosine dans les fromages lactiques (Le Mens, 2008). A l'affinage, elle hydrolyse à la caséine alpha-S1 en particulier, mais l'activité est limitée dans des fromages à pâte molle et croûte fleurie. Elle peut aussi hydrolyser la caséine bêta, ce qui peut favoriser le défaut d'amertume si cette activité est trop importante.
- Les enzymes microbiennes : les enzymes d'affinage proviennent de nombreuses espèces de micro-organismes, et sont donc très variées (voir fiche « Microbiologie »). Les enzymes protéolytiques et lipolytiques les plus actives proviennent de *Geotrichum candidum* (Boutrou et Guéguen, 2005) et des moisissures (Mahaut *et al.*, 2000).

Quelles sont les enzymes impliquées dans l'affinage ?

Certaines enzymes vont intervenir au cours de l'affinage soit directement durant la vie cellulaire de la cellule (enzyme exocellulaire), soit après la mort et la lyse de la cellule (enzymes endocellulaires). Ces enzymes appartiennent à 4 groupes :

- Enzymes protéolytiques : les endopeptidases (ou protéases) qui hydrolysent les protéines en libérant des peptides et les exopeptidases qui scindent les peptides en acides aminés.
- Les systèmes de dégradations des acides aminés : modifient ou décomposent les acides aminés libérés par les exopeptidases.
- Les enzymes lipolytiques (lipases) qui hydrolysent les triglycérides en acides gras et en glycérides partiels.
- Les systèmes actifs sur les acides gras et leurs dérivés : à l'origine de la formation des acides β -cétoniques, de méthyles cétones, d'alcools secondaires...

Quels sont les mécanismes de la maturation enzymatique ?

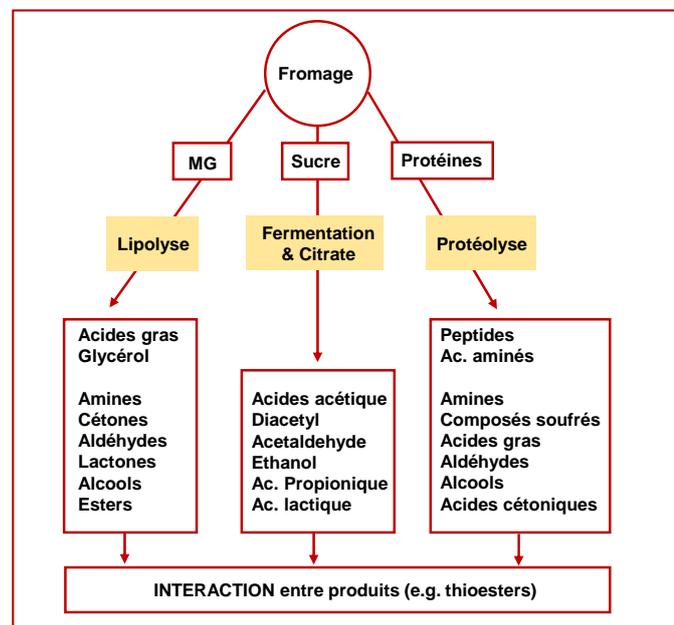


Figure 7 : transformations biochimiques ayant lieu dans un fromage au cours de l'affinage

Source : cours Y. Güzere, ENILBIO Poligny

La glycolyse

La fermentation du lactose produit principalement de l'acide lactique. Il se trouve surtout sous forme de lactate. Les autres composés métabolisés dans cette voie de dégradation dépendent du micro-organisme impliqué (éthanol, acide acétique, CO_2 ...) (Mahaut *et al.*, 2000). Le citrate présent dans le lait est un séquestrant du calcium (citrate de calcium). Trop de citrates conduisent à des problèmes technologiques car ils séquestrent le Ca^{2+} qui n'est plus alors disponible pour les transformations (surtout pour la phase de coagulation). La fermentation du citrate lors de l'acidification conduit à une molécule importante dans l'arôme des fromages frais, le diacétyl, molécule responsable de l'arôme beurré, d'odeur de crème et l'arôme de noisette.

La figure 7 récapitule l'ensemble des transformations biochimiques que subit le fromage lors de son affinage.

La protéolyse

La protéolyse, dégradation des protéines, participe à l'assouplissement de la pâte et à la flaveur (les acides aminés sont des précurseurs d'arômes) (Mahaut *et al.*, 2000).

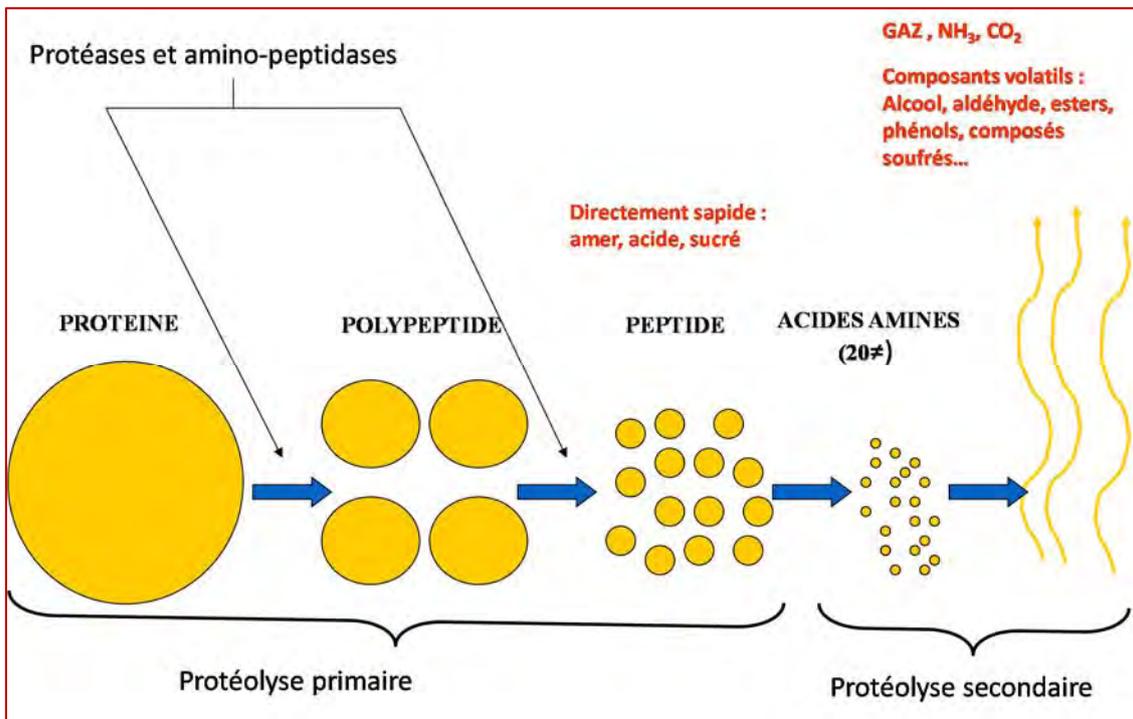


Figure 8 : les transformations de protéines lors de la protéolyse

Source : CFF Patrick Anglade et Ivan Larcher

Les levures et moisissures ont une activité protéasique élevée contrairement aux bactéries lactiques. Suivant les espèces microbiennes présentes dans le fromage, à partir d'un même acide aminé, les molécules finales seront différentes. La dégradation des protéines conduit à des peptides sapides, amers, sucrés, acides. Ils peuvent être responsables de l'amertume dans les fromages. La dégradation des acides aminés en une multitude de composés volatils est essentielle pour la typicité des fromages.

Dans une protéolyse primaire, les enzymes (protéases) hydrolysent les protéines (figure 8). Cela produit un ensemble de polypeptides (sans arôme), eux même dégradés en peptides à grande ou à moyenne chaîne (amers et sucrés). Durant la protéolyse secondaire, les enzymes hydrolysent les peptides à longue et moyenne chaîne (peptidases) en peptides à petite chaîne (moins de 20 résidus) et en acides aminés (Le Mens, 2008). Entrent ensuite en jeu les systèmes actifs sur les acides aminés (désaminases et décarboxylases) qui donnent des arômes distincts (figure 9) :

- désaminations (production d'ammoniac),
- décarboxylation (production d'amines au goût de vieux fromages),
- dégradation de méthionine et cystéine (odeurs soufrées),
- dégradation tyrosine et phénylalanine (odeurs de plastique).

Pour développer la protéolyse secondaire, les leviers à la disposition du producteur sont le choix des microflore d'affinage (sauf lorsque on utilise du lactosérum) et leur bon développement, la température (la température plus élevée favorise la protéolyse primaire), l'hygrométrie (plus d'humidité favorise la protéolyse primaire), le temps (la protéolyse prend plus de temps).

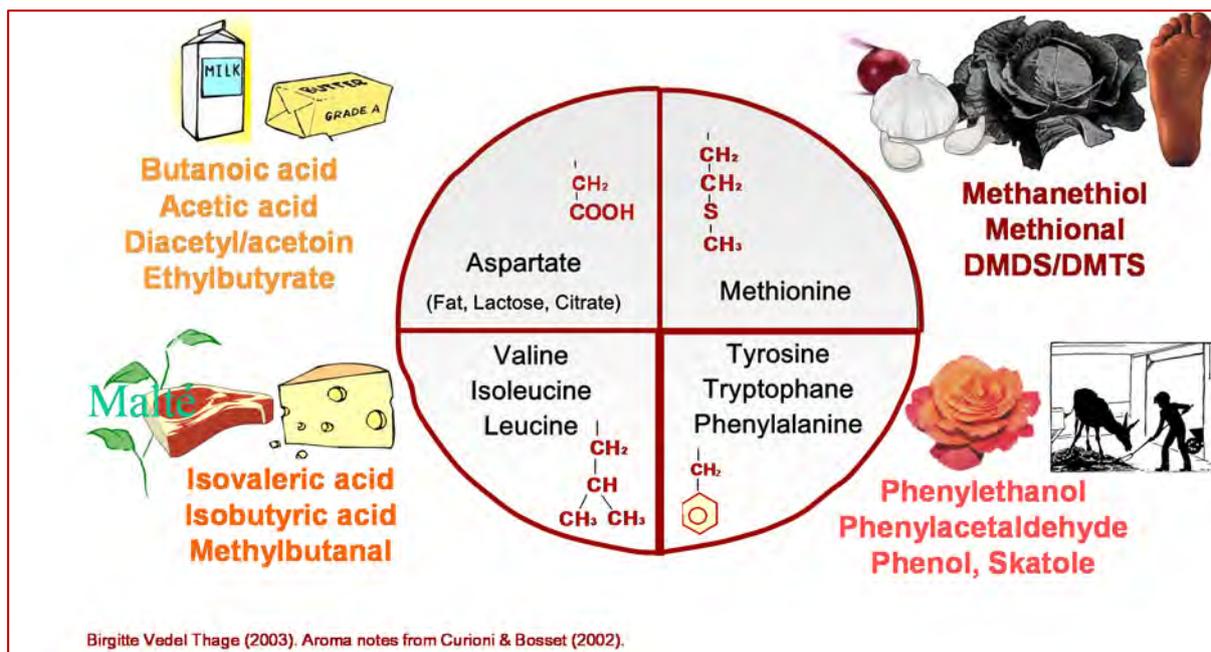


Figure 9 : notes aromatiques dérivées des acides aminés - Cours Y. Gaüzere, ENILBIO Poligny, 2009

La température va conditionner le type de dégradations protéiques en cours d'affinage. Plus la température d'affinage est élevée, plus les enzymes empruntent des voies de dégradation primaires des caséines. Les températures basses (<10 °C) ralentissent la protéolyse primaire mais n'affectent pas la lipolyse, qui conduit à une production d'arômes. Un indicateur de la protéolyse primaire est le rapport azote soluble sur azote total (NS / NT) (voir définitions et méthodes d'analyses dans l'encadré sur les méthodes d'analyse page 27-28), et pour la protéolyse secondaire, le rapport azote non protéique sur azote total ou sur azote soluble (NNP / NT ou NNP / NS). La figure 10 présente les résultats des analyses de fromages réalisées sur le critère NS / NT dans 49 fermes (enquêtes LACTAFF) 14 jours après démoulage. Ces résultats varient selon le type de fromage ; par exemple la protéolyse est plus importante pour les fromages à couverture *Geotrichum* protéolysés sous croûte (23%) que pour les fromages « secs avec des spots bleus » (10%).

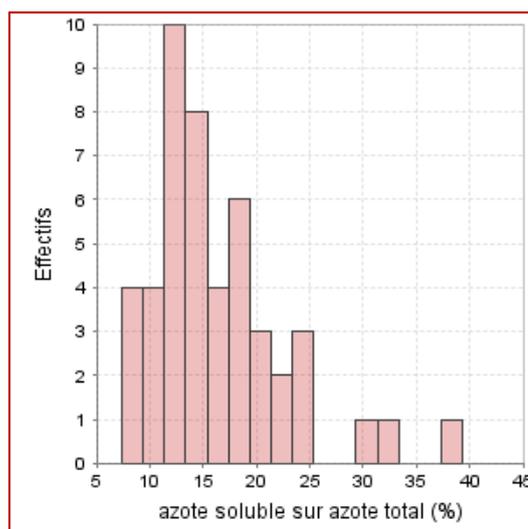


Figure 10 : répartition des résultats des analyses du rapport azote soluble sur azote total (pourcentage) des 49 fromages de l'enquête LACTAFF 14 jours après démoulage

Les résultats issus de ces enquêtes ont aussi permis de confirmer que la protéolyse est généralement plus élevée quand l'extrait sec total est faible et le taux de sel peu élevé dans les fromages (c'est-à-dire que le fromage a une a_w élevée). Les fromages les plus secs sont aussi les plus salés (corrélation 0,8) alors que la lipolyse et la protéolyse sont peu dépendantes de l'extrait sec (corrélation -0,4 et 0,002) (voir rapport Lactaff action 1).

Des analyses supplémentaires menées sur fromages de 14 jours dans les 4 fermes étudiées plus en détail ont montré que la protéolyse secondaire a déjà démarré dans ces fromages :

- le rapport azote non protéique sur azote total (NNP / NT) passe d'une valeur proche de 4% au démoulage à des valeurs entre 40 et 53% à 14 jours,
- le rapport azote non protéique sur azote soluble (NNP / NS) passe de valeurs comprises entre 4 et 17% au démoulage à des valeurs entre 47 et 80% à 14 jours.

La lipolyse

La lipolyse est une hydrolyse des triglycérides des globules gras en acides gras volatils (AGV) et en glycérol (figure 11). Elle est importante pour les fromages à pâte molle, où l'on retrouve 3 à 10% d'AG libres (volatils ou non). Ces derniers s'engagent ensuite dans des systèmes actifs :

- β -oxydation des AG en acides β -cétoniques, puis en méthyles cétones (agent de saveur et d'arôme puissant, typique des fromages de chèvre).
- Estérification des AG en esters (saveur fruitée)

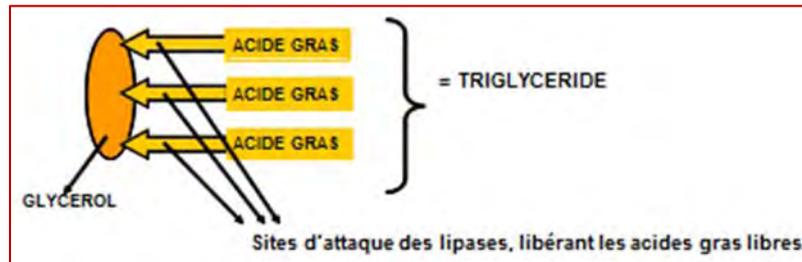


Figure 11 : transformations des lipides au cours de l'affinage par lipolyse
Source : CFF Patrick Anglade et Ivan Larcher

La dégradation des triglycérides n'intervient pas dans la modification des caractéristiques rhéologiques des fromages affinés. En revanche, le rôle de la lipolyse dans le développement des arômes est capital. Elle permet la libération d'AGV, entre autre l'acide caprique, l'acide caprylique et l'acide caproïque, qui, par leur niveau plus élevé (plus élevé que dans les fromages des autres espèces), confèrent aux fromages de chèvre leur odeur et leur goût particulier. La lipolyse dans les fromages est surtout le fait de la lipo-protéine lipase (LPL) naturelle des laits, des lipases microbiennes de *Pseudomonas*, de *Geotrichum* et de moisissures.

La figure 12 présente les résultats obtenus pour un indicateur de lipolyse dans les 49 fermes de l'enquête LACTAFF. Le niveau de cet indice est très variable et différent selon le type de fromages, de 9 en moyenne pour les fromages secs à « spots » bleus, à 17 en moyenne pour des fromages à couverture *Geotrichum* protéolysés sous croûte.

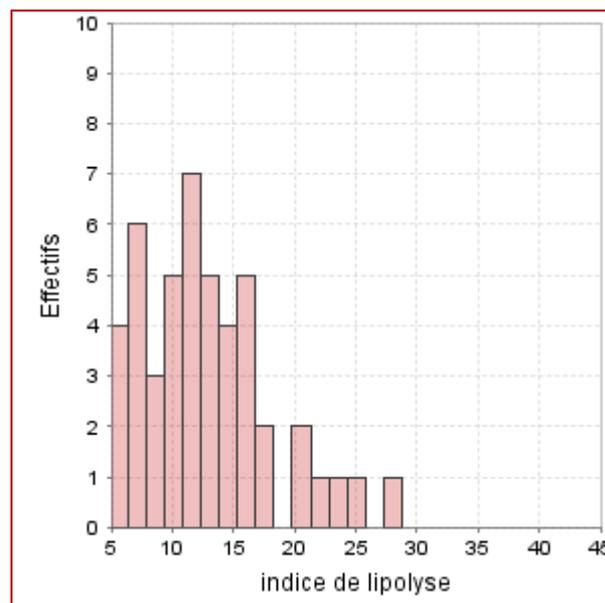


Figure 12 : répartition des résultats des analyses de l'indice de lipolyse des 49 fromages de l'enquête LACTAFF 14 jours après démoulage

Les différents paramètres de l'affinage

L'essentiel

Les conditions auxquelles seront soumises le fromage au cours de sa vie paramètreront les caractéristiques finales du produit.

Les paramètres d'ambiance (température, hygrométrie, composition de l'air et ventilation) agiront aux différentes étapes d'affinage et pourront être adaptées par les producteurs en fonction de la composition du substrat (pH, a_w , teneur en sel...) toujours pour viser l'objectif du produit fini, avant emballage.

Différents paramètres influent sur le déroulement de l'affinage relevant de la composition du fromage et des paramètres d'ambiance (figure 13).

Il faut bien avoir en tête qu'en production fermière le lait évolue tous les jours, ainsi que le microbisme ambiant et que le producteur a donc un rôle-clé de pilotage de cette phase à travers les paramètres décrits dans cette partie, notamment en se servant de ses 5 sens pour évaluer tous les jours les évolutions même infimes de son produit. Tout ceci s'acquière avec l'expérience et la formation, demande de la rigueur et de la motivation, et d'avoir des équipements permettant ce pilotage de la façon la plus fine possible, ou à défaut de mettre en place des adaptations qui seront parfois gourmandes en temps de travail.

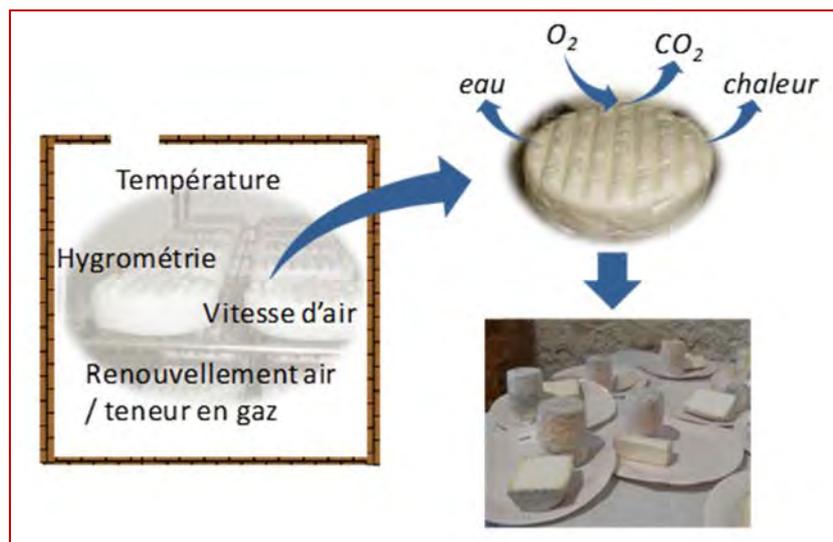


Figure 13 : les conditions d'ambiance influençant l'affinage d'après le Centre Fromager de Bourgogne

Paramètres d'ambiance

La température

La température est un des paramètres fondamentaux de la vie microbienne et, par conséquent, celui de la réussite de l'affinage du fromage. La température joue non seulement par le niveau moyen mais aussi par son amplitude (mini-maxi au cours d'une journée par exemple, en lien avec fonctionnement de l'équipement de climatisation et, donc, de l'hygrométrie). Il est le plus simple à contrôler dans les locaux de fromagerie. La maîtrise de la température des locaux d'affinage passe par une bonne isolation et un bon choix de matériel (voir les fiches « Locaux » et « Climatisation »). Ce paramètre joue également sur les activités enzymatiques. La température évolue au cours de l'affinage pour favoriser le développement des micro-organismes successifs et moduler leurs activités enzymatiques.

Par exemple, l'activité des enzymes dégradant la matière grasse est maximale à 30-35°C et celle des enzymes dégradant les protéines est maximale à 40-45°C. Les lipases ont 50% d'activité à 10°C, et les protéases ont 10% d'activité à 10°C. Les températures d'affinage sont volontairement en deçà des optimums des flores afin de ralentir l'évolution du produit ce qui permet de mieux maîtriser cette étape. C'est un compromis entre évolution microbienne et développement de la flaveur (car si les températures sont trop élevées il y a apparition de goût et d'arômes désagréables (ex. amertume, odeur de styrène...)).

L'hygrométrie

L'hygrométrie ou humidité relative de l'air représente le rapport entre la quantité de vapeur d'eau réellement présente dans l'air (en g d'eau par kg d'air sec) et la quantité de vapeur d'eau maximale que peut contenir cet air à la même température (g d'eau / kg air sec) (figure 14).

Le degré d'hygrométrie (exprimé en pourcentage) d'une pièce d'affinage conditionne, en partie, la cinétique de développement de la flore microbienne en surface et le niveau de dessèchement du fromage. Si l'air au contact du fromage n'est pas saturé en vapeur

d'eau, l'eau du fromage est transférée à la phase gazeuse (l'air) provoquant une perte de matière (eau en majorité) du fromage donc une perte de poids. L'hygrométrie influence la teneur en eau du fromage aussi bien à l'intérieur qu'en surface. Ce phénomène de transfert d'eau au sein du fromage vers la phase gazeuse est d'autant plus important que le caillé est déminéralisé (cas de la technologie lactique). Les fromages lactiques sont plus facilement sujets à dessèchement qu'une pâte pressée cuite par exemple, notamment car ils ont plus d'eau à perdre.

L'hygrométrie est le paramètre le plus difficile à maîtriser dans des installations fermières (voir fiche « Les équipements de climatisation des locaux d'affinage »). Elle est dépendante du paramètre température.

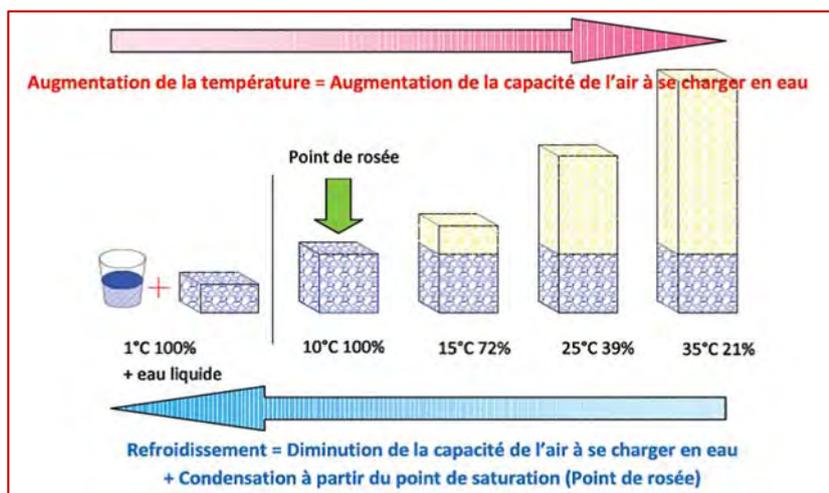


Figure 14 : quantité d'eau pouvant être fixée dans 1 kg d'air selon la température ambiante

Source : intervention de N. Enjalbert, Air QualityProcess à la journée technique « Mieux gérer l'affinage des pâtes lactiques, des pâtes molles et des pâtes pressées non cuites », Profession Fromager, 17 juin 2014

Les gaz/composition de l'air/aération

Réglementation NH₃ et CO₂ : il existe des niveaux à respecter pour la sécurité des personnes travaillant dans des locaux d'affinage (peu probable en lactiques fermiers, la valeur moyenne relevée dans les enquêtes LACTAFF est de 3 000 ppm) :

- CO₂ : 5 000 ppm sur 8 h,
- NH₃ : 10 ppm soit 7 mg/m³ sur 8 h et 20 ppm soit 14 mg/m³ sur le court terme.

La composition chimique de l'air à l'échelle d'une pièce varie en fonction du renouvellement de l'air et des dégagements gazeux des fromages, voire du fromager s'il séjourne longtemps dans la pièce (phénomène de respiration). L'aération permet de renouveler l'air par apport d'air neuf. Le brassage de l'air (ventilation) vise à homogénéiser l'air au sein de la pièce et à renouveler l'air au contact des

fromages. La maîtrise de la composition chimique de l'ambiance (NH_3 , O_2 , CO_2) permet d'orienter le développement de la flore de surface et les échanges entre le produit et l'air. Durant l'affinage, les microflores consomment l' O_2 et rejettent le CO_2 , du NH_3 et de l'eau. En anaérobiose (ambiance pauvre en oxygène), les levures produisent de l'éthanol et du CO_2 , ce qui se traduit par des odeurs d'alcool caractéristiques de cette phase.

La disposition des fromages sur les grilles ou les claies puis en piles doit permettre une bonne oxygénation de la surface de chaque fromage.

De plus, les réactions métaboliques de l'affinage font que les fromages dégagent de la chaleur. L'impact de ce dégagement de chaleur dans l'atmosphère de la cave doit être géré grâce au renouvellement et au refroidissement de l'air.

Ces variations de composition de l'air peuvent être bénéfiques ou non à la qualité des produits, selon les flores et leur stade de développement recherchés. Les concentrations de gaz peuvent varier au cours de l'affinage (ouverture des portes, aération...), elles favoriseront certaines flores et modifieront l'équilibre du stock enzymatique et qualitatif du fromage, entraînant l'évolution des fromages. La baisse d' O_2 favorise la fermentation par les levures, qui produisent alors de nombreux arômes. L'augmentation du pH de surface, due à la consommation de lactates (par les levures rapidement) et production d'ammoniac (plus tard), sélectionne ainsi les microflores de surface et leur type de développement. Les teneurs en gaz de l'ambiance des pièces d'affinage sont encore mal connues, ainsi que leur effet sur la qualité des fromages, particulièrement en fromages lactiques. La « respiration » des fromages semble varier selon l'âge des fromages (consomme plus d' O_2 dans les 5 à 7 premiers jours au hâloir), leur surface d'échange avec l'atmosphère, le type de flore de surface... (PEP caprins Rhône-Alpes, 2012). Les teneurs en gaz de l'ambiance varient selon l'activité respiratoire des fromages, la taille de la pièce, son chargement en fromages et les renouvellements d'air (PEP Caprin Rhône-Alpes, 2012). La teneur en gaz au plus près des fromages peut être un peu différente de celle de l'atmosphère globale de la pièce, notamment si les fromages sont très serrés sur les claies.

La vitesse de l'air / ventilation

La ventilation provient soit des équipements des locaux (groupe froid ventilé ou ventilateurs dans la pièce), soit du renouvellement d'air (ouverture des portes, extracteurs...). La ventilation joue sur l'homogénéité de l'ambiance et le renouvellement de l'air au contact des fromages. La vitesse de l'air en contact avec les fromages favorise l'évaporation de l'eau contenue dans les fromages (favorable au séchage par exemple). Une vitesse élevée associée à une faible hygrométrie de l'air assèche la surface des fromages. Ceci est d'autant plus important que les fromages sont de petit format.

Le rapport surface/volume des fromages est un élément important de leur évolution au cours de l'affinage car il conditionne notamment leurs pertes en eau (exemples ci-dessous). L'augmentation du rapport surface/volume augmente la freinte (pertes en eau et matière), un fromage de petit format subit une freinte plus importante qu'un fromage de gros format (photos 6 à 9).



Photo 6 : Fromage de type palet de 1,5 cm de haut et 2 cm de rayon (rapport surface/volume de 2,3)



Photo 7 : Fromage de type Mâconnais 4,7 cm de haut et 2,35 cm de rayon (rapport surface/volume de 1,28)

Source : G. Allut, CFB



Photo 8 : Fromage de type pyramide de 5,2 cm de haut et 4,1 cm et 8 cm de base (rapport surface/volume de 1,05)



Photo 9 : Fromage de type Charolais de 10 cm de haut et 3,25 cm de rayon (rapport surface/volume de 0,82)

Source : G. Allut, CFB et A. Chabanon, FRESYCA

Paramètres relevant de la composition du fromage

Le pH du fromage

Le pH du fromage est un autre facteur qui conditionne la pousse des micro-organismes et l'activité des enzymes. Etant donné la diversité des espèces, selon les espèces, le pH toléré va de 3 à 10. Les moisissures se développent à des pH de 4 à 5. Ces valeurs témoignent d'une certaine acido-tolérance. Les bactéries d'affinage se développent plutôt au-dessus de 5,0. Les levures ont une large plage de tolérance (3 à 10), avec un optimum de 5 à 6 (Hermier *et al.*, 1992). Le pH ne doit pas être trop bas car il empêche alors l'activité enzymatique qui permet au fromage de s'affiner. En dessous d'un pH 5, leur activité est ralentie. Les enzymes ont également des pH optimaux d'activité (5,5 à 7,5 pour les protéases et 7,5 à 8,5 pour les lipases).

Le gradient de pH entre le cœur et la croûte est important en technologie lactique du fait, entre autre, du développement des levures en surface et de leur travail de désacidification (figure 10).

Le pouvoir tampon du fromage est sa capacité à s'opposer à une variation de pH notamment à cause de sa composition en protéines ou en minéraux. Ce pouvoir tampon est faible pour les fromages lactiques.

La teneur en sel et l' a_w

L'activité de l'eau (a_w) représente la disponibilité en eau dans le produit. L' a_w (eau libre/eau totale) est un paramètre de croissance des microflore, d'action des enzymes et des réactions chimiques. Les bactéries, levures et moisissures ont des tolérances différentes à l' a_w du produit. L' a_w du produit est comprise entre 0 et 1. Plus l'activité de l'eau est élevée, plus la quantité d'eau libre est grande, 1 étant le maximum. On définit une a_w limite par espèce, en-dessous de laquelle elle ne se développe plus. Les valeurs d' a_w où la croissance est encore possible varient de 0,9 à 1 pour les bactéries, de 0,8 à 1

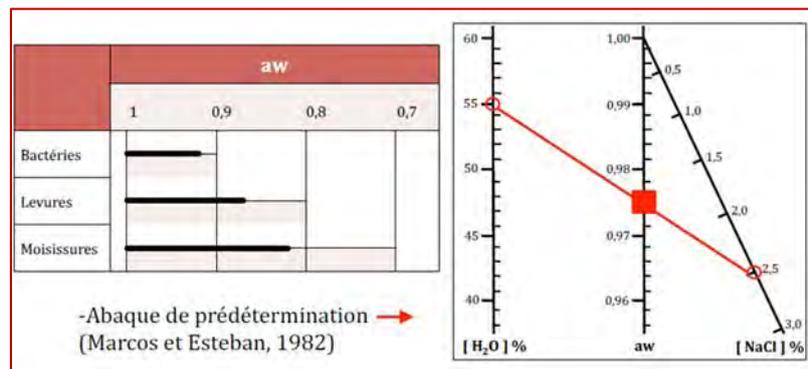


Figure 15 : conditions d'activité de l'eau (a_w) croissance des micro-organismes d'affinage et abaque de détermination de l' a_w du fromage en fonction de la teneur en eau et en sel du produit

Source : B. Mietton, journée technique « Mieux gérer l'affinage des pâtes lactiques, des pâtes molles et des pâtes pressées non cuites », Profession Fromager, 17 juin 2014

pour les levures et de 0,6 à 1 pour les moisissures. Pour une valeur basse, la phase de latence des micro-organismes se trouve allongée. Leurs courbes de croissance sont liées à ce paramètre.

Dans le fromage, l'activité de l'eau dépend de la composition (teneur en eau et en sel...) du produit et de son extrait sec (figure 15). Si l'activité de l'eau diminue, l'activité des micro-organismes va également diminuer. C'est pour cette raison que les pâtes humides s'affinent plus rapidement.

Les soins d'affinage

Les retournements ont pour objectif de régulariser la forme du fromage, d'homogénéiser le développement des microflore souhaitées sur le fromage et de bloquer les microflore indésirables en répartissant l'eau libre et en mettant régulièrement dans « l'air » la face du fromage qui est en contact avec le support. Les mouvements des piles de fromages dans les pièces d'affinage et des grilles de haut en bas des piles ont pour objectif de gommer des éventuelles hétérogénéités d'ambiance. Des réarrangements des fromages sur les grilles sont aussi pratiqués par les producteurs pour que les fromages se trouvent dans une atmosphère plus humide et moins riche en O₂, ou tout simplement car ils manquent de place. Les fromages peuvent aussi être frottés si le croûtage en cours de formation ne correspond pas aux objectifs du producteur (croûtage trop épais, présence de *Pseudomonas*...).

Les pratiques des producteurs observées dans les enquêtes sont détaillées dans la dernière partie pièce par pièce.

Rôle des différentes phases et différentes pièces

L'essentiel

Chaque pièce a une fonction et ces fonctions doivent se succéder en vue de la réussite de l'affinage des fromages lactiques (ressuyage, séchage, affinage).

Le cheminement global est l'installation des flores de surface, l'évacuation d'un certain pourcentage d'eau et enfin la transformation des constituants primaires du lait sans trop de pertes en eau.

Chaque producteur choisira ou utilisera son matériel de façon à obtenir, malgré un lait qui évolue en permanence, des produits relativement homogènes, tout au long de l'année en faisant varier soit la température, l'hygrométrie, la ventilation ou la durée à chaque étape.

La perte de poids totale des fromages durant les 14 jours de suivi dans les 49 enquêtes en fermes LACTAFF est très variable (entre 26 et 73% du poids au démoulage, avec une perte moyenne de 45%), ainsi que le moment auquel ce poids est perdu. La moyenne des pertes de poids au ressuyage est de 12,5%, au séchage de 25% et en affinage de 25%.

Le ressuyage

Le ressuyage est une étape facultative qui complète l'égouttage et permet l'implantation des flores de surface. Cette étape consiste à laisser les fromages démoulés en salle de fabrication (le plus souvent) ou dans une pièce dédiée, à une température relativement élevée (16°C - 22°C). La durée de cette étape est très variable, pouvant aller de quelques heures à quelques jours. Cette durée de ressuyage, le salage, les températures et l'humidité relative de la salle vont jouer sur la déshydratation du fromage.

Dans les enquêtes LACTAFF, 40 exploitations sur 49 pratiquent un ressuyage d'une durée de 1 à 4 jours (1 à 2 j le plus souvent). La moyenne des pertes de poids au ressuyage est de 12,5% (écart-type 6,9%, allant de 2,2% à 28,4%).

Pour cette phase de ressuyage dans les 49 fermes, les températures varient de 13,1°C à 22,4°C avec une moyenne de 19°C sous une hygrométrie moyenne de 79%, avec un minimum de 61% et un max de 97% (figure 16).



Photo 10 : Fromages démolés, mis au ressuyage en salle de fabrication
Source : S. Morge, PEP caprins Rhône-Alpes

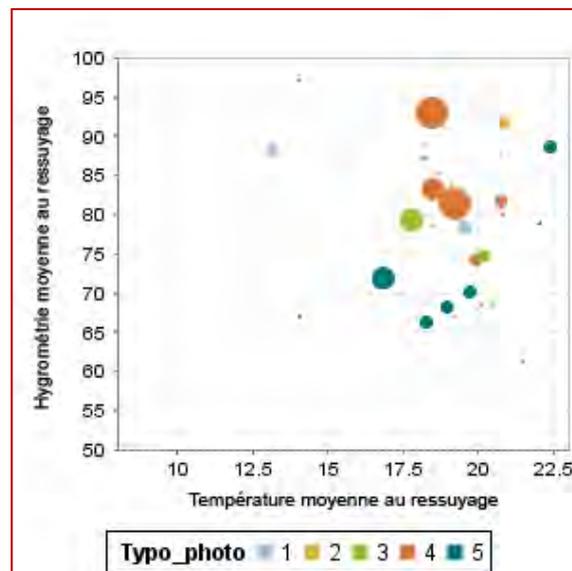


Figure 16 : températures et hygrométries moyennes mesurées au cours du ressuyage dans 40 fermes pratiquant un ressuyage (enregistrement toutes les minutes durant la durée de ressuyage des fromages). La taille des points est proportionnelle à la durée de la phase. En couleurs les groupes typologiques de fromages classés selon leur aspect à dire d'experts (typo_photo) : « *Geotrichum* sec mais ayant bien poussé, avec du *Penicillium* bleu « moussieux » » (1), « *Geotrichum* sec et assez fin » (2), « *Geotrichum* vermiculé qui ne coule pas » (3), « *Geotrichum*, vermiculé et collant, avec protéolyse sous-croûte » (4), « *Geotrichum* vermiculé et *Penicillium* en touffes ou tâches » (5).

Les critères de fin du ressuyage cités par les producteurs de l'enquête LACTAFF sont les suivants (un ou l'autre, souvent plusieurs) :

- durée fixe,
- moins de lactosérum (petit lait)/ d'humidité,
- durée selon besoins en fromages et encombrement,
- présence et développement du *Geotrichum*, mais pas trop, uniformité sur les 2 faces (« voile mat », « début de peau »).

Ils adaptent les conditions de ressuyage en jouant sur :

- la durée surtout,
- la température selon la couverture de surface des fromages, la saison, les microflores du fromage (en cas de problèmes de trous dus à des bactéries hétérofermentaires, (« cratère extérieur »), ils diminuent la température du lait de fabrication),
- l'hygrométrie (déshumidificateurs, extracteur, ouverture des fenêtres...),
- la position des fromages dans la pièce par rapport au flux d'air.

Le séchage

L'objectif de cette phase est de continuer à évacuer une partie de l'eau et de stopper l'acidification grâce au développement des levures.



Photo 11 : Séchage des fromages Source : G. Allut, Centre Fromager de Bourgogne

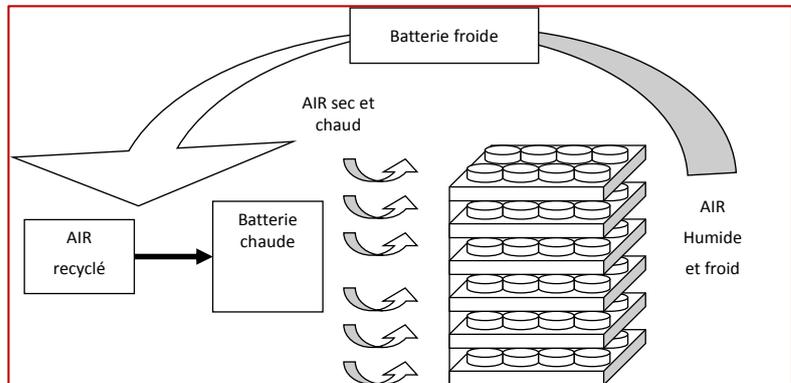


Figure 17 : schéma de principe du séchage Source : PEP caprins Rhône-Alpes, fiche séchage D06115

Dans un local étanche, une circulation d'air est assurée sur les fromages. L'air, en passant sur ceux-ci, se charge d'eau qui est ensuite condensée sur la batterie froide (=évaporateur). Cet air froid est réchauffé sur une batterie chaude, et recommence un nouveau cycle (figures 17 et 18).

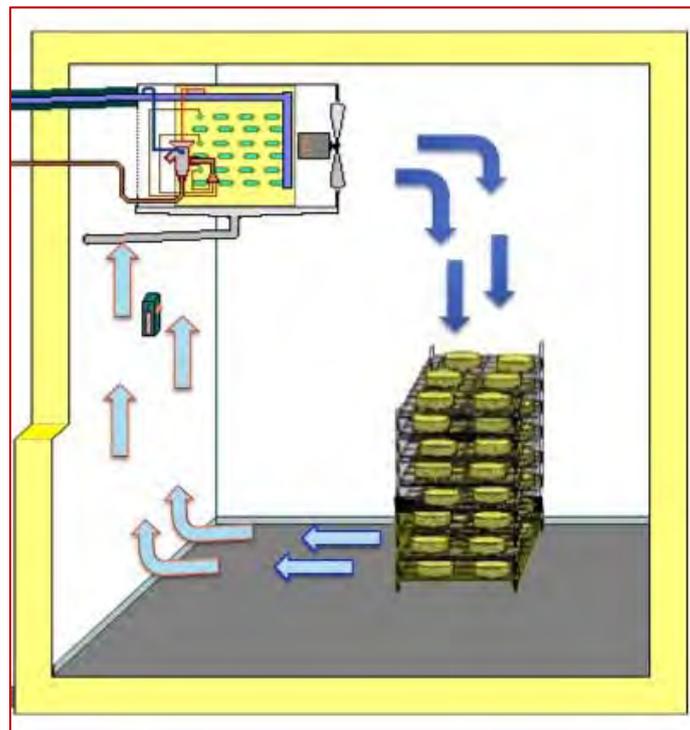


Figure 18 : schématisation des mouvements de l'air dans le séchoir : installation frigorifique à détente directe à évaporateur dynamique – Source : cours Patrick Jean, ENILIA ENSMIC

Il facilite également le développement des levures et du *Geotrichum* qui désacidifient le fromage. Dans les enquêtes LACTAFF, cette étape dure de 1 à 7 jours pour les 32 exploitations qui pratiquent un

séchage dans une pièce dédiée, pour une perte de poids moyenne de 25% (écart-type 12,8%, minimum de 0,5% et maximum de 46%).

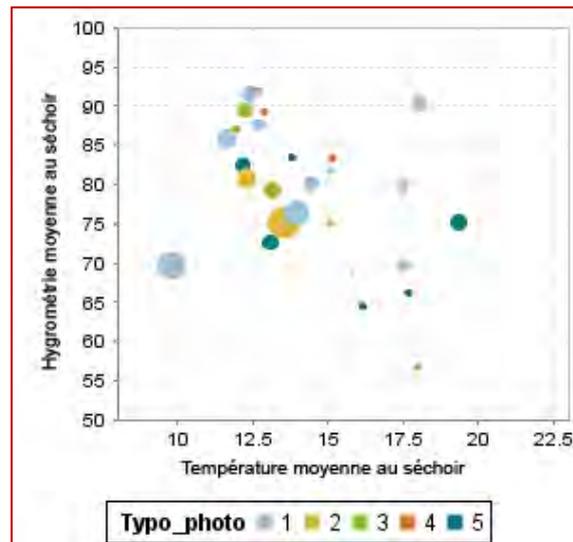


Figure 19 : températures et hygrométries moyennes mesurées au cours du séchage dans une pièce dédiée dans 32 fermes (enregistrement toutes les minutes durant la durée passée par les fromages au séchoir). La taille des points est proportionnelle à la durée de la phase. En couleurs les groupes typologiques de fromages classés selon leur aspect à dire d'experts (typo_photo) : « *Geotrichum* sec mais ayant bien poussé, avec du *Penicillium* bleu « moussieux » » (1), « *Geotrichum* sec et assez fin » (2), « *Geotrichum* vermiculé qui ne coule pas » (3), « *Geotrichum*, vermiculé et collant, avec protéolyse sous-croûte » (4), « *Geotrichum* vermiculé et *Penicillium* en touffes ou tâches » (5)

Pour cette phase de séchage dans les 32 fermes, les températures varient de 9,8°C à 19,3°C avec une moyenne de 14,3°C pour une hygrométrie moyenne de 79%, avec une valeur minimale de 57% et une valeur maximale de 92% (figure 19).

La perte d'eau, liée à l'égouttage, au ressuyage ou au séchage (figure 20), crée les conditions d'implantation et de développement adaptées à certaines flores (flore d'intérêts). La durée, la température, l'hygrométrie et la vitesse de l'air au séchoir sont à moduler en fonction des objectifs du producteur et des phases précédentes (perte de poids, croûtes et textures des fromages (figure 20)). Le type de séchoir joue également sur ces pertes car dans certains cas, il n'est pas possible de piloter tous les paramètres. Le chargement du local (nombre de fromages / m³) est aussi à prendre en compte car les fromages dégagent de l'eau, du CO₂ et de la chaleur. Un séchage mal maîtrisé peut conduire à des défauts d'apparence et/ou de flaveur des fromages.

Un séchage rapide de la surface (favorisé par un débit d'air important) contribue à augmenter la concentration du sel en surface (en ralentissant la migration vers le cœur du fromage pour une hygrométrie donnée). Il n'est pas rare de rencontrer des itinéraires techniques sans séchage ou dont l'étape ne se déroule pas dans une pièce dédiée (ventilateurs dans la pièce de ressuyage ou dans le hâloir).

Les critères individuels de fin du séchage cités par les producteurs de l'enquête LACTAFF sont les suivants (un ou l'autre, souvent plusieurs), définissant des critères tactiles et subjectifs :

- fermeté mais pas trop sec : visuel (« on ne peut plus le déformer en appuyant sur la tranche ») et toucher ; bords plus secs que le centre, cœur tendre...
- développement du *Geotrichum* mais pas trop (« traces sur les doigts »),
- ne colle plus,
- formation d'une croûte sèche et épaisseur de cette croûte,
- couleur (jaune, ivoire) et mat,
- durée fixe,
- durée selon place et besoins en fromages,
- taille.

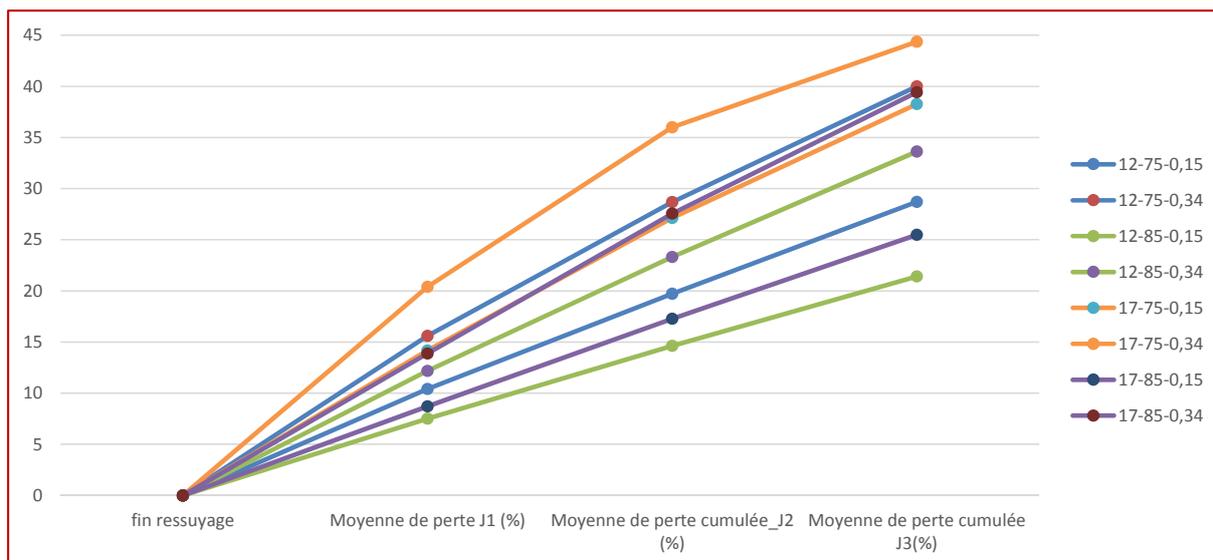


Figure 20 : pertes de poids cumulées sur les 3 jours de séchage pour des fromages de type Picodon AOP placés dans conditions d'ambiance définies dans des cellules de séchage de laboratoire de l'INRA de Clermont-Theix. (En abscisse la durée (jour 1 à jour 3), en ordonnée le pourcentage de perte de poids cumulée depuis le démoulage. Pour la légende, le 1er chiffre est la température (°C), le deuxième l'hygrométrie (%) et le troisième la vitesse d'air (en m/s))

Les adaptations des conditions de séchage par les producteurs de l'enquête LACTAFF :

- utilisation du séchoir limitée à certaines périodes ;
- mouvements :
 - des piles aux différents endroits de la pièce selon hétérogénéité de l'ambiance
 - piles qui tournent sur elles-mêmes
 - mouvements des grilles haut ↔ bas
 - réarrangement des fromages sur une grille ;
- circuit défini et fixe des piles de l'entrée jusqu'à la sortie de la pièce ;
- ajout d'un ventilateur dans une partie de la pièce ;
- réglage de l'hygrométrie et de la ventilation, de la température, du temps de séjour dans le séchoir ;
- mise en route du groupe froid seulement quelques heures par jour.

Pratiques de séchage sans pièce spécifique observées chez les producteurs de l'enquête LACTAFF :

- séchage avec ventilateur en salle de fabrication,
- brassage d'air avec ventilateur en salle d'affinage,
- les fromages sont placés dans la zone plus ventilée dans le hâloir (hétérogénéité de l'ambiance).

L'affinage dans le hâloir

L'affinage *stricto sensu* dans le hâloir achève l'élaboration des caractéristiques organoleptiques du fromage. Les phénomènes sont complexes (glycolyse, lipolyse, protéolyse) et conduisent à modifier les caractéristiques d'aspect, texture, consistance, couleur, composition physico-chimique et microbiologique et induisent des pertes de poids. Ces mécanismes sont fortement influencés par les agents d'affinage (flore d'ensemencement ou contamination en bactéries lactiques et/ou flore de surface) et par les conditions d'affinage. Grâce à ces phénomènes, la saveur et les arômes des fromages se développent. Attention, la maîtrise est complexe car de nombreux paramètres entrent en jeu (température, hygrométrie, vitesse ou mouvement de l'air...).

Dans les enquêtes LACTAFF, cette étape est d'une durée variable de 4 à 11 jours (pour un suivi de 14 j après démoulage) pour les 49 exploitations, pour une perte de poids moyenne de 25% (écart-type 13,3%, minimum de 4% et maximum de 53%).



Photo 12 : Disposition de piles de fromages dans un hâloir dynamique
Source : M. Pétrier, centre Technique des Fromages Caprins de la région Centre

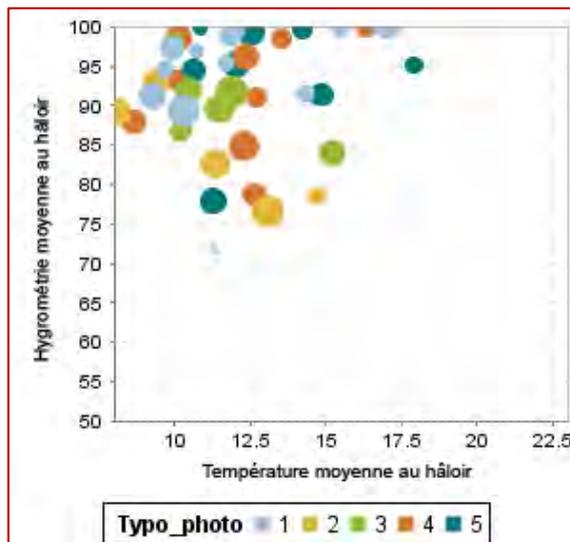


Figure 21 : températures et hygrométries moyennes mesurées au cours de l'affinage dans une pièce dédiée dans 49 fermes (enregistrement toutes les minutes durant la durée passée par les fromages au hâloir). La taille des points est proportionnelle à la durée de la phase. En couleurs les groupes typologiques de fromages classés selon leur aspect à dire d'experts (typo_photo) :
« *Geotrichum* sec mais ayant bien poussé, avec du *Penicillium* bleu « moussieux » » (1), « *Geotrichum* sec et assez fin » (2), « *Geotrichum* vermiculé qui ne coule pas » (3), « *Geotrichum*, vermiculé et collant, avec protéolyse sous-croûte » (4), « *Geotrichum* vermiculé et *Penicillium* en touffes ou tâches » (5).

Pour cette phase d'affinage en hâloir dans les 49 fermes, les températures varient de 5,8°C à 17,9°C avec une moyenne de 11,7°C pour une hygrométrie moyenne de 92%, min de 72% et max de 99,9% (figure 21). La perte de poids durant cette phase doit être plus modérée qu'au séchoir mais il est recherché surtout des conditions permettant le développement des microflores d'affinage et la maturation enzymatique des constituants du fromage caillé. L'ensemencement de ces microflores se fait naturellement dans le hâloir où l'air est chargé en microorganismes et spores. Les flores d'affinage proviennent aussi du lait, des éventuels ferments du commerce ou du lactosérum utilisé pour l'ensemencement du lait.

Les critères de fin d'affinage cités par les producteurs de l'enquête LACTAFF sont les suivants (un ou l'autre, souvent plusieurs) :

- le plus souvent les producteurs n'en n'ont pas car ils vendent à tous les stades, il y a plutôt un minimum pour certains en cas d'AOP,
- dès que le *Geotrichum* recouvre les fromages, voire jusqu'à vermiculé ou peau de crapaud,
- bleu simplement « apparu » dans certains cas ou couvrant de façon homogène le fromage dans d'autres (pour ceux qui veulent du bleu),
- suivant le niveau de séchage : « ne collent plus », fermes au toucher,
- dépend des ventes par rapport aux stades d'affinage et différents circuits de vente,
- passage en chambre froide ou armoire d'affinage pour bleuir,
- couleur des fromages,
- souplesse de la pâte, crémeux sous croûte,
- dépend du chargement du hâloir, éviter un taux de chargement à 100%,
- dégustation.

Adaptations lors de l'affinage des producteurs de l'enquête LACTAFF :

- température ;
- mouvements :
 - des piles aux différents endroits de la pièce selon hétérogénéité de l'ambiance (soit mouvement prédéfini, soit selon aspect des fromages),
 - piles qui tournent sur elles-mêmes,
 - mouvements des grilles haut ↔ bas,
 - réarrangement des fromages sur une grille, y compris resserrés/desserrés ;
- ventilateurs mis en route si les fromages « piaulent » (trop crémeux sous croûte) ;
- draps placés sur la pile selon période ou pour moins sécher les produits ;
- fréquences de retournement très variables ;
- 2^{ème} cave si la première est trop pleine ou pour avoir des ambiances différentes ;
- le plus souvent adaptation de la température (selon vitesse d'affinage, croûtage et chargement), baisse de la température si beaucoup de fromages et vente moindre ;
- ajout extracteur, ventilateur ou variation du ventilateur de l'évaporateur pour assécher les fromages ;
- hygrométrie de l'évaporateur si possible ;
- déshumidificateur en marche ou pas, plus ou moins fort pour réguler mieux la perte de poids ou la texture des fromages ;
- si fromages crémeux : augmentation ventilation et diminution de l'hygrométrie et/ou diminution de la température.



Photo 13 : Resserrement sur les grilles (ici au démoulage)
Source : G. Allut, CFB



Photo 14 : Confinement de fromages en caisse
Source : C. Reynaud, Actalia Carmejane

Analyses physico-chimiques

Les analyses présentées dans le tableau ci-dessous sont celles que les techniciens de terrain et les technologues considèrent comme importantes pour juger de la qualité d'un fromage lactique affiné et/ou caractériser le fromage au démoulage ou en cours d'affinage (tableau 1).

Tableau 1 : analyses intéressantes et méthode d'analyse et/ou de calculs pour juger de la qualité d'un fromage lactique

Indicateur ou critère	Unité	Méthodes et normes	Interprétation et résultats attendus
pH	Unité pH	Mesure par sonde pH, en surface ou à cœur du fromage ou avec une bandelette papier pH	Attention à la sensibilité pour les bandelettes de papier pH
Analyse Extrait Sec Total	g/kg	FIL 21B: 1987	Suivi de la quantité de matière sèche du produit, et donc de la part d'eau perdue au fil de l'affinage
Analyse Matière Grasse	g/kg	Méthode Gerber : NF V 04-210	Quantité de matière grasse
Calcul HFD	%	$\text{HFD} = \frac{(100-ES)}{100-MG} \times 100$ (ES et MG exprimés en %)	Humidité sur Fromage Dégraissé. Plus l'HFD est élevée, plus le fromage s'affinera vite (eau disponible pour les micro-organismes)
Calcul G/S	%	$= \frac{\text{Matière Grasse (g/kg)}}{\text{Extrait Sec Total (g/kg)}} \times 100$	Rapport de la matière grasse sur la matière sèche
Calcul NaCl/H ₂ O	g/100g	A partir de l'analyse de NaCl (en g/kg ; Chlorures : chlorumètre FIL 88A : 1988, Sodium : spectrométrie d'émission de flamme) = $\frac{NaCl}{1000-ES}$ en g/kg	Quantité de sel en fonction de l'eau contenue dans le produit : plus précis que la simple teneur en sel par kg de produit (lien avec extrait sec du produit et a_w).
NS/NT	%	= Azote Soluble / Azote Total NT (azote total en g/kg) : Kjeldhal : FIL 20B : 1993 NS (azote soluble à pH 4,4) : méthode interne ENILBIO Poligny	Indicateur de protéolyse primaire : plus le pourcentage est élevé, plus la protéolyse est poussée
Indice de lipolyse		Nombre de millilitres de solution alcaline normale nécessaire pour neutraliser l'acidité de 100 g de matière grasse.	Montre le degré de lipolyse : plus l'indice est élevé, plus la matière grasse est lysée en acides gras

Note complémentaire : en technologie lactique, il n'est pas nécessaire d'analyser le rapport calcium sur ESD, qui est toujours compris entre 0,4 et 0,6 g/kg.

Le tableau suivant (tableau 2) présente des repères de valeurs issues des 49 enquêtes réalisées dans le cadre du programme CASDAR LACTAFF à chacune des étapes suivantes : fromages au démoulage, en fin de séchage (ou à 4 j si pas de ressuyage et/ou de passage au séchoir) et en fin d'affinage.

Tableau 2 : 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 (49 valeurs) et écart-type entre parenthèses	Valeur moyenne 14j 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 / mesuré sur des 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

Références

- Boutrou R., Gueguen M., 2005. Review : Interests in *Geotrichum candidum* for cheese technology. International Journal of Food Microbiology, 102:1-20.
- Choisy C., Desmazeaud M., Gripon J.C., Lamberet G., Lenoir J., 1997. La biochimie de l'affinage. In Eck et al., 1997. 86-161.
- Eck A., Gillis J.C., Hermier J., Lenoir J., Weber F., 1997. Le fromage, 3ème édition. Editions Lavoisier Tec&Doc, 891 pages.
- Gaüzere Y., 2009. Les flores de surface et d'affinage. Intervention aux journées techniques de l'ENILBIO Poligny « 20 ans de formation et d'accompagnement au service des producteurs fromagers fermiers » du 21 et 22 avril 2009. 46 diapositives.
- Hermier J, Lenoir J et Weber F, 1992. Les groupes microbiens d'intérêt laitier. CEPIL, 568 pages.
- Institut de l'Elevage, FNEC, PEP Caprins RA, Centre Fromager de Carmejane, CDEO, Languedoc Roussillon Elevage, CTFC, ENILBIO Poligny, ITFF, Université Claude Bernard Lyon 1, Office de l'Elevage, 2007. CD rom Guide d'appui technique sur les accidents de fromagerie à la ferme, 2ème version. Edition Technipel, Paris.
- Irlinger F., Mounier J., Vallaeys T., Monnet C., Ladaud S., Helinck S., Spinnler E., Bonnarme P., 2007. Bactéries et champignons des fromages. Un travail d'équipe exemplaire. Biofutur, 283 : 24-27.

- 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., Gaüzère Y., Leclercq-Perlat M.N., Guillemain 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 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.*
- Le Mens P., 1985. Guide pratique pour la conception et l'aménagement des fromageries fermières. ITOVIC, 135 pages.
- Mahaut M., Jeantet R., Brûlé G., 2000. Initiation à la technologie fromagère. Editions Tec&Doc, 194 pages.
- Mège J., 1992. Fromages fermiers. Guide de construction des locaux. SICA CREOM, 129 pages.
- Mietton B., 1998. Les fromages et leur environnement - climatisation, flux, emballage, in : Cours de fromagerie, octobre 1998. ENILBio Poligny, 19 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.
- PEP caprins Rhône-Alpes, 2007. Le séchage des fromages lactiques. Fiche D06115. Plaquette 8 pages.
- Profession fromager, 2014. Mieux gérer l'affinage des pâtes lactiques, des pâtes molles et des pâtes pressées non cuites. Profession fromager, journée technique du 17 juin 2014, diaporama, 165 diapositives.
- Raynaud S., Morge S., Pétrier M., Allut G., Barral J., Enjalbert V., Reynaud C., Michel A., Fatet E., Chabanon A., Teinturier M., Gaüzère Y., Picque D., Guillemain 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 : Yves GAÜZERE (ENILBio Poligny), Patrick ANGLADE (CFF Patrick Anglade), Guillemette ALLUT (CRAB-Centre Fromager de Bourgogne), Coralys ROBERT (Institut de l'Élevage), Julie BARRAL (LRE puis CA 34), Claire BÄRTSCHI à partir du cours d'Yves GAÜZERE et de l'expérience des techniciens de terrain

Relecteurs : Marie-Noëlle LECLERCQ-PERLAT et Daniel PICQUE (INRA), Patrick JEAN (ENILIA ENSMIC), Antoine MICHEL, Catherine REYNAUD (ACTALIA Centre de CarneJane), Agnès CHABANON, Mélissa TEINTURIER (FRESYCA), Nicolas ENJALBERT (Air Quality Process), Jean-Yves BLANCHIN, Jacques CAPDEVILLE, Cécile LAITHIER, Yves LEFRILEUX (Institut de l'Élevage), Alexane DORLÉAC (station caprine expérimentale du Pradel EPLEFPA)

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. Idele : 00 16 403 009

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

