

Sécurité alimentaire du fromage: procédés de traitement du lait de fromagerie

Ernst Jakob et Elisabeth Eugster

Agroscope, Institut des sciences en denrées alimentaires IDA, 3003 Berne, Suisse

Renseignements: Ernst Jakob, e-mail: ernst.jakob@agroscope.admin.ch



Séparateurs centrifuges dans une fromagerie. (Photo: Jakob, Ernst)

Introduction

Certains fromages traditionnels suisses sont fabriqués entièrement ou partiellement avec du lait cru. Pour certains d'entre eux bénéficiant d'une appellation d'origine

protégée (AOP), l'utilisation de lait cru est même prescrite dans les cahiers des charges AOP. Le lait cru est par définition un lait qui n'a pas été chauffé à plus de 40°C ni soumis à un traitement d'effet équivalent (ordonnance sur les denrées alimentaires d'origine animale). Dans la fabrication de fromage au lait cru ou au lait thermisé, le fabricant est tenu par la loi, indépendamment du procédé de prétraitement utilisé, de mettre en place un système HACCP afin de garantir en tout temps la sécurité alimentaire des produits.

Le guide des bonnes pratiques, selon l'art. 52 de l'ordonnance sur les denrées alimentaires et les objets usuels, dégage le producteur de denrées alimentaires indépendant de l'obligation d'élaborer lui-même un système HACCP. Il existe deux guides à ce sujet dans l'économie laitière: le QM Fromarte et le guide des bonnes pratiques de la production et de la transformation du lait dans les exploitations d'estivage de la Société suisse d'économie alpestre (guide SAV). Ces guides tiennent compte aussi bien de la législation suisse qu'européenne (ordonnance (CE) n° 852/2004, ordonnance (CE) n° 2073/2005) et ont été approuvés par l'OFSP¹. Un tel guide doit se baser sur les principes du concept HACCP et être adapté aux particularités de chaque établissement, ce qui représente un grand défi, en particulier pour les entreprises artisanales de production alimentaire.

Le microbiome du lait cru

En raison de sa composition, le lait cru représente un milieu idéal pour la croissance de nombreux microorganismes. L'ensemble des microorganismes présents dans le lait cru est appelé le «microbiome du lait cru». Il s'agit d'une communauté très complexe de germes de différentes espèces, dont la composition spécifique exerce une influence directe sur l'aptitude du lait cru à la transformation de même que sur sa qualité et sa sécurité

¹ <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/lebensmittel-und-ernaehrung/rechts-und-vollzugsgrundlagen/hilfsmittel-und-vollzugsgrundlagen/leitlinien-gute-verfahrenspraxis.html>

(Mayo *et al.* 2014; Quigley *et al.* 2013b). Des chercheuses ont identifié jusqu'à 256 espèces différentes de microorganismes dans le lait cru (Masoud *et al.* 2012; Quigley *et al.* 2013a). Parmi ces dernières, un certain nombre de genres et d'espèces inattendus, dont la présence n'a encore jamais été décrite dans le lait cru auparavant.

Les bactéries lactiques (BL: genres *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Streptococcus*, *Enterococcus*) de même que les staphylocoques commensaux prédominent dans le microbiome du lait cru frais. S'y ajoutent d'autres microorganismes (*Propionibacterium* spp., *Corynebacterium* spp., *Arthrobacter* spp., *Brevibacterium* spp., *Carnobacterium* spp., *Bifidobacterium* spp. et des levures) qui, comme les BL, se développent lors de certaines étapes de la fabrication et de l'affinage du fromage; ils contribuent de façon déterminante, en fermentant le lactose, le citrate et l'acide lactique, de même que par la protéolyse et la lipolyse, aux caractéristiques du fromage (arôme, goût, texture). En raison de leurs fonctions à la fois technologique, physiologique et nutritionnelle, ces microorganismes sont indispensables dans le lait cru.

Le lait cru contient cependant aussi de nombreux microorganismes indésirables qui peuvent porter préjudice à la qualité et à la sécurité alimentaire du fromage, par exemple, les spores de *Clostridium tyrobutyricum*, à l'origine des fermentations butyriques tant redoutées par les fabricants (Bergère *et al.* 1969). Les bactéries à Gram négatif (pseudomonades, entérobactéries, etc.) jouent un rôle secondaire en cas de bonne hygiène de traite, mais elles peuvent prédominer après la réfrigération du lait (Scott 1998). Un grand nombre de ces germes forme des lipases et des protéases, qui provoquent des défauts d'arôme dans le fromage prêt à la consommation (Jakob *et al.* 2010). La biodiversité microbienne est élevée parmi les bactéries à Gram négatif et de nombreuses espèces ont été identifiées: *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., *Enterobacter* spp., *Alcaligenes* spp., *Proteus* spp., *Citrobacter* spp., *Psychrobacter* spp., *Halomonas* spp., *Serratia* spp., *Hafnia* spp. (Quigley *et al.* 2013a).

Les entérocoques, en particulier *E. faecalis* et *E. faecium*, font partie des BL et sont présentes dans de nombreuses denrées alimentaires prêtes à la consommation (Dalla Torre *et al.* 1993; Baumgartner *et al.* 2001, McAuley *et al.* 2015). Compte tenu de leurs propriétés, elles sont considérées de façon controversée dans la littérature scientifique. Certaines souches sont utilisées comme cultures starter ou probiotiques, d'autres sont décrites comme des vecteurs d'infections nosocomiales opportunistes (Top *et al.* 2008). Dans le fromage, les entérocoques produisent de la tyramine (Leuschner *et al.* 1999) et sont connus pour acquérir et transmettre certains gènes de

Résumé ■ Dans la fabrication des fromages traditionnels suisses, la transformation du lait frais, traité avec le plus de ménagement possible, est importante. Grâce à la préservation aussi complète que possible du microbiome et de l'activité enzymatique du lait cru, ces fromages conservent leurs caractéristiques d'origine. Toutefois, cet objectif entre en conflit avec les exigences croissantes de sécurité alimentaire. Cette revue de littérature porte sur l'influence du prétraitement du lait de fromagerie, en particulier du traitement thermique, de la bactofugation et de la microfiltration, en vue de garantir la sécurité et la qualité des fromages.

la résistance aux antibiotiques (Teuber *et al.* 1999). Or, les entérocoques n'ont jusqu'à présent jamais été classés dans la catégorie des microorganismes dangereux pour la santé.

La consommation de denrées alimentaires fermentées, à forte teneur en amines biogènes, représente également un risque pour la santé humaine. Les amines les plus indésirables sont l'histamine et la tyramine, qui peuvent toutes deux déclencher de nombreux troubles. Des teneurs de plus de 300–500 mg/kg de fromage entraînent des défauts de goût et d'ouverture et limitent l'aptitude à l'affinage du fromage (Wechsler *et al.* 2009). Pour la fabrication de fromages de bonne qualité, il est indispensable de transformer un lait cru exempt de microorganismes producteurs d'amines (*Lactobacillus parabuchneri*, entérocoques et entérobactéries).

Sécurité alimentaire et qualité du fromage au lait cru

En Suisse, un peu plus d'un tiers du lait produit est transformé en fromage au lait cru. Les fromages à pâte mi-dure et à pâte dure sont des denrées alimentaires relativement sûres, la plupart des germes pathogènes étant inactivés au cours de la maturation. Dans le fromage à pâte mi-dure, le taux d'inactivation est cependant plus faible, en particulier pour *Listeria monocytogenes* et *Mycobacterium avium* ssp. *paratuberculosis*, dont le taux d'inactivation est d'un log 0,5 ou moins par mois (Bachmann et Spahr 1995; Spahr et Schafroth 2001). Les fromages à pâte mi-dure présentent des risques plus importants que les fromages à pâte dure, car en raison d'une teneur en eau plus élevée, ils subissent une maturation plus rapide et sont consommés aussi plus tôt.

Dans le cadre d'un concept HACCP pour le fromage à pâte mi-dure et à pâte dure, il faut en particulier traiter

Tableau 1 | Microorganismes pathogènes/producteurs de toxines: fréquence dans le lait cru et comportement dans le fromage à pâte mi-dure (Verraes *et al.* 2015; Menéndez Gonzalez *et al.* 2011; Beuvier *et al.* 1997; Fröhlich-Wyder 2016)

Danger	Fréquence dans le lait cru	Croissance	Inactivation	Importance
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,1–1% ⁽¹⁾	Sur la surface des fromages à croûte lavée	Réduction dans la pâte du fromage: <0,5 log/mois	élevée
<i>Salmonella</i> spp.	<0,1% ⁽¹⁾	Non (pas de fermentation du lactose)	env. 1 log/mois	faible
<i>Escherichia coli</i> productrices de shiga-toxines	0,1–1% ⁽¹⁾	Forte croissance au cours des premières 24 h (fermentation du lactose)	env. 1 log/mois	élevée
<i>Staphylococcus aureus</i>	27–36 ⁽²⁾	Forte croissance au cours des premières 24 h, à >10 ⁵ ufc/g, formation de toxines possible	2–3 log/mois, Les toxines ne sont pas inactivées	élevée
Lactobacilles producteurs d'histamine	1–10% ⁽²⁾	Au cours du processus de fabrication et pendant l'affinage	Lente inactivation après 30 à 60 jours avec une formation continue d'histamine	élevée
Entérocoques producteurs de tyramine	>10% ⁽²⁾	Au cours du processus de fabrication et pendant l'affinage	Lente inactivation après 30 à 60 jours avec une formation continue de tyramine	moyenne

⁽¹⁾ Lait de fromagerie de la ferme. Proportion de N=601 échantillons avec détection positive dans 25 g de lait. (Agroscope 2015, non publié)

⁽²⁾ Proportion d'échantillons avec plus de 10 ufc/ml. (Agroscope 1997, non publié)

les risques microbiologiques dus aux microorganismes relativement fréquents dans le microbiome du lait cru et présentant une bonne aptitude à la survie dans le fromage ou se développant lors de certaines étapes de fabrication et de maturation du fromage. Ils peuvent de ce fait atteindre des nombres de germes élevés même en cas de faible contamination (tabl. 1). Il faut aussi tenir compte du fait que quasiment tous les microorganismes présents dans le lait passent dans le fromage et sont donc dix fois plus concentrés.

Les contrôles microbiologiques des produits finis effectués dans le cadre du concept HACCP ont pour objectif de vérifier l'efficacité du système mis en place. Ils ne sont effectués que de façon sporadique pour les fromages à pâte dure et mi-dure, il est donc d'autant plus important de maîtriser les risques microbiens décrits dans le tableau 1 par un processus de fabrication bien contrôlé.

Traiter le lait pour améliorer la sécurité alimentaire

Entreposage du lait

Dans le cas où le lait cru n'est pas soumis à un traitement bactéricide avant sa transformation, sa qualité microbiologique a une importance cruciale pour la sécurité alimentaire et la qualité organoleptique du fromage. Selon l'article 14 de l'ordonnance sur l'hygiène en production laitière, le lait de fromagerie peut être conservé à une température dépassant 8°C à condition que la transformation ait lieu au plus tard dans les 24 heures après la traite. La température ne doit pas dépasser 18°C et la sécurité alimentaire doit être garantie en tout temps. La croissance d'*Escherichia coli* est tellement accélérée à des températures supérieures à 12°C (fig. 1) que lors d'une durée d'entreposage de seulement 12 heures, il peut s'ensuivre une contamination inacceptable du lait de fabrication. En dessous de 10°C, il n'y a au contraire

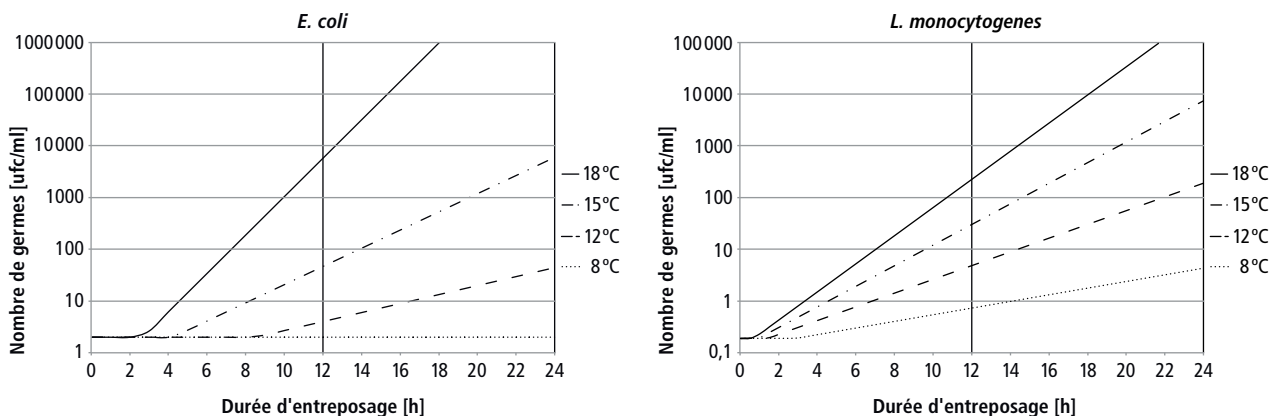


Figure 1 | Multiplication d'*Escherichia coli* (à gauche) et de *Listeria monocytogenes* (à droite) dans le lait à différentes températures (simulation avec Sym'previus, Leporq *et al.* 2005).

Tableau 2 | Combinaison température – durée pour la pasteurisation du lait avec une teneur en matière grasse de max. 10% selon la «US Pasteurized Milk Ordinance» (FDA 2011)

Température [°C]	Durée de chambrage
63	30 minutes
72	15 secondes
89	1 seconde
90	0,5 seconde
94	0,1 seconde
100	0,01 seconde

aucune croissance notable des germes pathogènes. Seule exception, *Listeria monocytogenes*, qui peut se multiplier même à une température de 0°C.

Le guide SAV interdit donc un entreposage du lait à des températures dépassant 15°C, si le lait est transformé en fromage à pâte mi-dure.

Chauffage du lait

Le traitement thermique (pasteurisation et thermisation) est le procédé le plus usuel pour supprimer les germes indésirables dans le lait cru. La **pasteurisation** du lait est définie dans l'ordonnance sur l'hygiène comme un traitement thermique à 72°C pendant au moins 15 secondes ou une combinaison température – durée avec le même effet (tabl. 2) et une épreuve de la phosphatase négative. Dans ces conditions, le nombre de microorga-

nismes pathogènes comme *Coxiella burnetii* est réduit d'un log 7 (Cerf et Condron 2006).

Dans le tableau 3 figurent des valeurs D et z typiques de différentes espèces de bactéries. Ces valeurs varient selon la souche. Certains germes pathogènes présentent une valeur z sensiblement supérieure à celle de *C. burnetii*, ce qui signifie que leur valeur D réagit moins fortement aux modifications de température. Par exemple, *Salmonella enterica* serovar Senftenberg est considérablement plus résistante à la chaleur que d'autres salmonelles. Les conditions expérimentales et le milieu ont aussi une influence sur ces valeurs (Sörqvist 2013).

A la différence de la pasteurisation, la **thermisation** n'est pas définie de façon précise dans la législation. Selon l'article 40 de l'ordonnance sur les denrées alimentaires d'origine animale, le lait de fromagerie est considéré comme thermisé s'il a été chauffé à une température de plus de 40°C mais de moins de 72°C pendant au moins 15 secondes et que l'épreuve de la phosphatase est encore positive.

La thermisation du lait de fromagerie a pour objectif de réduire le risque de défauts de fermentation. Vu la charge thermique plus faible, les enzymes comme la lipoprotéine lipase et les bactéries thermorésistantes comme les pédiocoques et les entérocoques sont moins fortement inactivés (tabl. 3), ce qui se répercute sur la maturation et le développement de l'arôme dans le fromage (Franklin et Sharpe 1963; Grappin et Beuvier 1997; Foulquié Moreno *et al.* 2006; Hickey *et al.* 2007).

Selon le cahier des charges du Vacherin Mont d'Or AOP, ce fromage ne peut être fabriqué qu'avec du lait traité

Tableau 3 | Valeurs D et z relatives à l'inactivation par la chaleur de différentes espèces de bactéries

Espèce de bactéries	Milieu	Valeur D 65°C [s]	Valeur z [°C]	Source
<i>Campylobacter jejuni/coli</i>	différents milieux	1,3	6,4	Sörqvist 2003
<i>Coxiella burnetii</i>	lait	156,1	4,4	Cerf et Condron 2006
<i>Enterococcus faecalis</i>	différents milieux	123,2	9,5	Sörqvist 2003
<i>Escherichia coli</i>	différents milieux	5,6	6,0	Sörqvist 2003
<i>Listeria monocytogenes</i> ¹	lait	21,6	6,7	Sörqvist 2003
<i>Mycobacterium avium</i> ssp. <i>paratuberculosis</i>	lait	68,5	7,1	Sung et Collins 1998
<i>Mycobacterium bovis/caprae</i> ²	lait	6,6	5,3	Hammer <i>et al.</i> 2015
<i>Salmonella</i> spp. ³	différents milieux	2,6	5,2	Sörqvist 2003
<i>Staphylococcus aureus</i>	lait	15,4	9,5	Firstenberg-Eden <i>et al.</i> 1977
<i>Yersinia enterocolitica</i>	lait et autres milieux	5,4	6,7	Sörqvist 2003

¹ Valeurs moyennes calculées au moyen des équations de régression de Sörqvist (2013) pour des essais avec des tubes capillaires ou des échangeurs de chaleur en serpentin

² Valeurs moyennes calculées au moyen de valeurs D à 60, 62 et 65°C de deux souches de *M. caprae* et d'une souche de *M. bovis*

³ Valeurs moyennes pour *Salmonella* spp. sauf *S. Senftenberg* qui est plus thermorésistante

Tableau 4 | Réduction du nombre de germes de *Listeria monocytogenes* et de salmonelles dans différentes conditions de thermisation, calculée au moyen de valeurs D et z moyennes

Conditions de thermisation		Réduction de germes	
Température [°C]	Durée de chambrage	<i>Listeria monocytogenes</i> ¹	<i>Salmonella</i> spp. ²
57°C	15 s	<0,1 log	0,2 log
62°C	15 s	0,2 log	1,5 log
65°C	15 s	0,7 log	5,7 log
68°C	15 s	2,0 log	>7 log

¹ Base de calcul: valeur D à 65°C dans le lait: 21,6 s, valeur z: 6,7°C (Sörqvist 2003).

² Base de calcul: valeur D à 65°C dans divers milieux: 2,6 s, valeur z 5,2°C pour *Salmonella* spp. sans *S. Senftenberg* (Sörqvist 2003).

thermiquement à une température située entre 57 et 68°C pendant au plus 15 secondes (Anon 2014c). Les chiffres figurant dans le tableau 4 montrent cependant qu'à 57°C pendant 15 s, les listérias et les salmonelles ne sont que faiblement inactivées. De même, *Listeria monocytogenes* n'est pas non plus complètement inactivée à une température située entre 62 et 65°C pendant 15 s (réduction d'un log 0,2 = 40%; d'un log 0,7 = 80%).

Si dans le cadre d'un concept HACCP la thermisation du lait de fromagerie est prise comme mesure pour maîtriser les risques microbiologiques dans le fromage, on constate que, comme pour la pasteurisation, il faut définir une combinaison température – durée équivalente. Selon le guide SAV, à une combinaison température – durée de 65°C/15 s correspond 60°C/5 min ou 57°C/30 min (calculé avec une valeur z de 4,3°C).

Tableau 5 | Efficacité de la BF du lait pour réduire le nombre de spores

Microorganismes	Accélération	Temp.	Débit	Réduction	Source
<i>Bacillus subtilis</i>	9000 g	71°C	5400 l/h	98,8%	Torres-Anjel et Hedrik 1971
<i>Bacillus subtilis</i>	9000 g	71°C	1800 l/h	99,2–99,8%	Torres-Anjel et Hedrik 1971
<i>Bacillus cereus</i>	9000 g	71°C	5400 l/h	90,3%	Torres-Anjel et Hedrik 1971
<i>Bacillus cereus</i>	9000 g	82°C	5400 l/h	97,1%	Torres-Anjel et Hedrik 1971
<i>C. tyrobutyricum</i>	p.i.	60°C	6000 l/h	95,8%	Bergère <i>et al.</i> 1969
<i>C. tyrobutyricum</i>	p.i.	65°C	6000 l/h	96,4%	Bergère <i>et al.</i> 1969
<i>C. tyrobutyricum</i>	p.i.	65°C	4000 l/h	97,6%	Bergère <i>et al.</i> 1969
<i>C. tyrobutyricum</i>	p.i.	70°C	6000 l/h	97,5%	Bergère <i>et al.</i> 1969
Spores anaérobies	p.i.	48°C	p.i.	97,4–98,7%	Te Giffel et van der Horst 2004
Spores aérobies	p.i.	48°C	p.i.	94,1–97,7%	Te Giffel et van der Horst 2004
Spores anaérobies	p.i.	50°C	48000 l/h	99,40%	GEA 2015

Bactofugation

Dans les années 1960, les premières bactofugeuses arrivèrent sur le marché. Cette nouvelle technologie a été largement utilisée dans l'industrie fromagère, car elle permettait d'éliminer dans le lait les spores de *Clostridium tyrobutyricum* très résistantes à la chaleur et à l'origine des gonflements tardifs tant redoutés par les fabricants (Bergère *et al.* 1969; Jacobsson et Thurell 1970; Invernizzi 1984). Ainsi, grâce à la bactofugation (BF), il devint possible de fabriquer du fromage à partir de lait d'ensilage sans ajouter de nitrate qui, à l'époque déjà, était très controversé (Walstra *et al.* 1999).

La BF est basée sur la différence de densité du lait ($d_4^{20} = 1,034$ g/ml) et des microorganismes. Les spores de bactéries en particulier ont une densité élevée de 1,30–1,32 g/ml. Les cellules végétatives ayant une densité de seulement 1,07–1,12 g/ml, elles sont moins bien éliminées par la BF que les spores (Deeth et Datt 2011). En plus de la densité, la dimension des cellules joue aussi un rôle important. Les grandes cellules et les agglomérats de cellules sont mieux éliminés. Vu que le degré d'efficacité de la BF dépend fortement de la viscosité, le lait doit être chauffé. Dans la pratique fromagère, on applique une température située entre 55 et 60°C (Spreer 2011). Le lait d'ensilage est souvent soumis à une double BF. De nombreuses études ont montré que la BF du lait parvient à éliminer 90 à 99,5% des spores de bactéries, ce qui correspond à une réduction d'un log 1–2,3 (tabl. 6). Les spores anaérobies (p. ex. *Clostridium tyrobutyricum*) sont mieux éliminées que les spores aérobies (*Bacillus* spp.) (Te Giffel et Van der Horst 2004; Deeth et Datt 2011; GEA 2015).

Tableau 6 | Elimination des cellules végétatives de microorganismes par la BF du lait

	Taux de flux [l/h]	Température [°C]	Réduction des germes [%]	Source
Germes aérobies mésophiles	25 000	55–65	86–92	Te Giffel et van der Horst 2004
Germes aérobies mésophiles	30 000	55	10	Faccia <i>et al.</i> 2013
Entérobactéries	30 000	55	72	Faccia <i>et al.</i> 2013
<i>Escherichia coli</i> ¹	2950 (50%)	54,4	95,3 (double BF)	Kosikowski et Fox 1968
Entérocoques	30 000	55	7	Faccia <i>et al.</i> 2013
Levures	30 000	55	55	Faccia <i>et al.</i> 2013
Lactobacilles	p.i.	50	90	McCarthy 2011
Lactobacilles	30 000	55	33	Faccia <i>et al.</i> 2013
<i>Mycobacterium avium</i> spp. <i>paratuberculosis</i>	p.i.	60	74–93	Grant 2005

¹ Deux bactofugeuses disposées en série ont été utilisées avec 50% de la performance nominale (l/h). La réduction du nombre de germes de 95,3% après une double BF correspond à une réduction d'environ 78% par traitement.

Divers auteurs ont également étudié l'effet de la BF sur les bactéries végétatives dans le lait. Les résultats manquent de cohérence (tabl. 7). Selon Te Giffel et van der Horst (2004), le nombre total de germes du lait cru peut être réduit de 86–92% par une BF à 55–65°C, ce qui correspond à une réduction d'un log 1. Faccia *et al.* (2013) ont constaté, en conditions de la pratique, un taux de réduction beaucoup plus faible et d'importantes différences entre les groupes de germes. Les entérobactéries ont été réduites de 72%, les entérocoques de 7% et les germes mésophiles aérobies de 10%. La nette réduction des entérobactéries correspond aux résultats de Kosikowski et Fox (1968), qui ont obtenu avec une double BF une réduction de 95%, ce qui équivaut à une réduction de près de 78% par traitement. Vu que les entérobactéries et les entérocoques se distinguent en particulier par leur résistance à la chaleur (tabl. 3), on en déduit que la charge thermique pendant la BF contribue largement à la réduction des entérobactéries et d'autres microorganismes instables à la chaleur. Le temps de séjour du lait dans le bactofugateur est de 5 à 7 s seulement (Grant 2005). Il faut aussi tenir compte de la durée de transport depuis l'échangeur de chaleur jusqu'au bactofugateur et retour. Agroscope a analysé du lait soumis à une bactofugation industrielle (30 s à 62°C). Comparée au lait thermisé, aucune réduction significative des entérocoques n'a été observée (Fragnière et Bütikofer 2006). Les résultats dans le tableau 7 confirment les affirmations de Kessler (Kessler 1988), selon lesquelles les microorganismes pathogènes ne peuvent pas être éliminés de façon fiable par la BF du lait dans des conditions moins sévères que celles de la pasteurisation.

Microfiltration

La microfiltration (MF) a fait son apparition dans les années 1980 et s'est fait connaître surtout par le Bacto Catch™ breveté par Tetra Pak (Gillot *et al.* 1984; Holm *et al.* 1986). Il s'agit d'un procédé de séparation membranaire qui élimine les microorganismes. En général, on utilise des membranes en céramique d'une dimension de pores de 1,4 µm, ce qui permet de retenir les microorganismes dans le retentat sans perdre trop de caséine micellaire (Te Giffel et van der Horst 2004). A la différence de la BF, la MF ne peut se faire qu'avec du lait écrémé. La crème est ensuite soumise avec le retentat à un traitement UHT afin de désactiver les spores de bactéries. La MF est effectuée le plus souvent à une température de 50°C pour réduire la viscosité du lait et empêcher la croissance des microorganismes.

Selon de nombreuses études, la MF a pour effet une réduction des germes dans le lait écrémé d'un log de 2–4 (Trouvé *et al.* 1991; Klantschitsch 1999; Saboya et Mauvois 2000; Elwell et Barbano 2006). Au contraire de la BF, le taux de réduction des spores n'est pas très différent de celui des germes végétatifs. Trouvé *et al.* (1991) ontensemencé du lait écrémé avec différentes espèces de bactéries à Gram négatif et à Gram positif de même qu'avec des spores de *Clostridium tyrobutyricum*. Ils ont ensuite microfiltré le lait à 50°C en utilisant un filtre en céramique avec des pores de 1,4 µm. 99,90 à 99,98% des germes de toutes les espèces ont été éliminés (réduction d'un log 3–4).

La MF du lait de fromagerie est peu répandue en Suisse. D'une part, il s'agit d'une technologie plus récente, liée à des investissements et à des coûts d'exploitation plus

élevés (GEA 2015). D'autre part, Bio Suisse interdit le traitement UHT de la crème utilisée pour la fabrication de fromage avec le label Bourgeon.

Discussion

La plupart des fromages AOP sont fabriqués exclusivement avec du lait cru. Les cahiers des charges AOP n'autorisent actuellement ni la pasteurisation, ni la BF, ni la MF pour le prétraitement du lait cru. Toutefois, ils laissent une grande marge de manœuvre au niveau des paramètres de sécurité alimentaires, en particulier dans l'entreposage du lait et dans les cas où la thermisation du lait est autorisée, de même que dans la température de chauffage du caillé.

Le microbiome et les enzymes du lait cru exercent une influence essentielle sur la maturation et le développement de l'arôme du fromage. Le prétraitement minimal du lait selon les cahiers des charges AOP a pour objectif de préserver le caractère authentique des fromages traditionnels suisses. Cet objectif est cependant en conflit avec les exigences croissantes de sécurité alimentaire. Bien qu'il n'existe aucune valeur limite pour les amines biogènes, les fromages qui en contiennent des teneurs élevées sont de plus en plus souvent contestés tant en Suisse qu'à l'étranger. Les *Escherichia coli* qui produisent des shiga-toxines (STEC) représentent un autre défi. La Commission européenne est en train d'élaborer une directive sur les denrées alimentaires contaminées par des STEC. Selon la version 4, les fromages dans lesquels des gènes de shiga-toxines auront été détectés devraient subir de nombreuses analyses complexes pour prouver la présence de STEC vivants et pourraient être déclarés inaptes à la vente. Dans le cas d'une entrée en vigueur de cette directive, la filière fromagère suisse serait aussi concernée.

Les conditions d'entreposage et de la thermisation du lait ont été définies de façon détaillée dans le guide SAV. Une thermisation à 65°C pendant au moins 15s suffit pour supprimer une grande partie des entérobactéries pathogènes (STEC, salmonelles) représentant un danger

dans les fromages affinés. Elle permet aussi de réduire le nombre de *Staphylococcus aureus*, de telle sorte qu'une formation de toxines dans le fromage, entraînant un nombre de germes de $> 10^5$ ufc/g, est très improbable. Les listérias, plus résistantes à la chaleur, doivent et peuvent être maîtrisées par des mesures supplémentaires, telle que l'analyse de l'eau après les soins aux fromages. Il est plus difficile de maîtriser les germes thermorésistants, qui sont capables de se développer dans le fromage, notamment les entérocoques producteurs de tyramine et les *Lactobacillus parabuchneri* producteurs d'histamine. Avec ces germes, la qualité du lait cru est essentielle.

La BF du lait ne permet pas de réduire suffisamment les germes thermorésistants, à l'exception des spores de bactéries. Les entérobactéries et les autres germes instables à la chaleur sont inactivés surtout de façon thermique lors de la BF. Autrement dit, la BF n'apporte aucune amélioration en termes de sécurité alimentaire, comparée à une thermisation à une température et à un temps de séjour équivalents. Il demeure cependant incontesté que la BF du lait cru réduit considérablement le risque de défauts de fermentation causés par des spores de clostridies.

La MF élimine de façon assez complète tous les microorganismes. Elle contribue ainsi à la sécurité alimentaire du fromage. Toutefois, le lait doit être écrémé avant d'être soumis à une MF. La crème subit généralement un traitement UHT et est ensuite partiellement réintroduite dans le lait microfiltré. Selon Beuvier *et al.* (1997), les fromages fabriqués avec du lait microfiltré sont semblables aux fromages au lait pasteurisé du point de vue sensoriel. Pour la transformation du lait de non-ensilage, on peut envisager une pasteurisation de la crème, au lieu d'un traitement UHT.

En France, les spécialistes débattent sur la question suivante: la MF peut-elle être envisagée dans la fabrication des fromages traditionnels au lait cru tout en respectant les directives d'hygiène européennes (Bérard et Marchenay 2004; Majdi 2009)? ■

Riassunto**Sicurezza alimentare del formaggio: procedura di trattamento del latte di caseificio**

Nella produzione di tipi di formaggio tradizionali, un trattamento del latte fresco particolarmente delicato è di importanza fondamentale. Grazie a un mantenimento il più possibile intatto del microbioma e delle attività degli enzimi originali, il latte crudo conferisce un carattere tradizionale a questi formaggi. Questi obiettivi sono in contraddizione con l'aumento dei requisiti da rispettare in materia di sicurezza alimentare dei prodotti. La seguente panoramica bibliografica si concentra sull'influenza dei trattamenti del latte di caseificio per la sicurezza alimentare e la qualità dei formaggi stagionati. Si approfondisce in particolar modo il trattamento termico, la centrifugazione per la rimozione dei batteri e la microfiltrazione.

Summary**Food safety of cheese: process for the treatment of cheesemaking milk**

In the manufacture of traditional types of cheese, the processing of fresh milk that has been treated as gently as possible is of crucial importance. Preserving the microbiome and the activity of the original enzymes in the raw milk to the greatest extent possible allows these cheeses to retain their original character. This objective conflicts with the growing demands placed on products in terms of food safety. The present overview of the literature deals with the influence of the pre-treatment of cheesemaking milk on the food safety and quality of ripened cheeses, with a particularly detailed look at heat treatment, bactofugation and microfiltration.

Key words: cheese making, food safety, milk treatment, pasteurization, thermization, bactofugation, microfiltration.

Bibliographie

- La liste des références bibliographiques peut être obtenue auprès des auteurs de l'article.