

Accidents de fabrication dus aux moisissures en fromagerie

S. LE BARS-BAILLY, J.D. BAILLY* et H. BRUGÈRE

Hygiène et Industrie des Aliments, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, 23 chemin des Capelles, F-31076 Toulouse Cédex 3

** Auteur auquel toute correspondance doit être adressée*

RÉSUMÉ

Les moisissures sont des champignons microscopiques ou micromycètes. Elles jouent un rôle important dans toutes les technologies appliquées au lait et tout particulièrement en fromagerie où elles permettent au fromage d'acquiescer la majeure partie de ses caractéristiques organoleptiques pendant l'affinage. Le développement de moisissures indésirables sur ce substrat entraîne l'apparition de défauts qui sont essentiellement des défauts de présentation ou de saveur. Ces anomalies sont à l'origine de pertes économiques importantes car les fromages deviennent alors invendables. Pour éviter l'apparition de ces accidents de fabrication, il convient de maîtriser un certain nombre de paramètres liés à l'hygiène, au sens large du terme, mais aussi à la technologie fromagère. Dans ce cadre, la démarche HACCP peut représenter un outil intéressant pour les producteurs.

MOTS-CLÉS : moisissures - altérations - fromage - prévention.

SUMMARY

Mold-related failings in cheesemaking. By S. LE BARS-BAILLY, J.D. BAILLY and H. BRUGÈRE.

Molds are microscopic fungi also called micromycetes. They play a very important role in all dairy technologies and specially in cheesemaking where they allow cheese to purchase most part of its organoleptic characteristics during ripening. Development of contaminant molds induces failings, essentially of presentation or flavor. These abnormalities cause economic losses still cheeses become unmarketable. To avoid the appearance of such problems, it is necessary to control hygiene and cheesemaking technology. Within this context, HACCP method can be a useful tool for producers.

KEY-WORDS : molds - alteration - cheese - prevention.

Introduction

Les moisissures sont des champignons microscopiques ou micromycètes. Ces organismes eucaryotes se caractérisent par un développement très généralement pluricellulaire, filamenteux, donnant naissance à un véritable mycélium.

Certaines de ces moisissures étaient connues et utilisées dès le Moyen-Age. En effet, dans le Rouergue, la «moisissure verte» servait déjà à la préparation du célèbre fromage de Roquefort. Quant au camembert, fleuron de notre patrimoine fromager, ses origines ne sont pas clairement établies. Sa création est attribuée à Marie HAREL, fermière de la commune de Camembert près de Vimoutiers, aux environs de 1790.

Actuellement, les moisissures occupent une place prépondérante dans les technologies appliquées au lait, et notamment dans la fabrication fromagère où elles jouent un rôle essentiel, pendant l'étape d'affinage, en conférant au fromage une bonne partie de ses caractéristiques. Cependant, dans ce secteur de l'agro-alimentaire, elles offrent un bel exemple de miroir à deux faces : les unes sont utiles, indispensables à l'élaboration de nombreux fromages ; d'autres, au contraire, sont indésirables car elles peuvent provoquer des accidents de fabrication redoutés des fromagers du fait des pertes économiques qu'ils entraînent ; en effet, des lots entiers de fromages doivent alors être déclassés voire éliminés. Ce sont d'ailleurs parfois les mêmes espèces fongiques dont le développement est souhaité sur certains fromages alors qu'il

est indésirable pour d'autres. Au génie technologique revient de «domestiquer» ces micro-organismes, de maîtriser leur développement. Il faut savoir utiliser les unes comme auxiliaires et chercher les moyens de se débarrasser des autres.

Au cours de cet article, nous verrons successivement quelles sont les principales espèces contaminantes en fromagerie, les accidents de fabrication qu'elles entraînent et, enfin, à l'aide d'un exemple, les mesures prophylactiques, essentiellement fondées sur la maîtrise rigoureuse de l'hygiène, à mettre en oeuvre pour éviter l'apparition de tels accidents au sein d'une fromagerie. Nous n'envisagerons pas ici les problèmes liés à la synthèse éventuelle de mycotoxines par les espèces contaminantes ou fromagères.

1. Les espèces contaminantes

En fromagerie, on considèrera comme espèces contaminantes toutes les moisissures dont la présence sur les fromages est indésirable car elles entraînent des défauts d'aspect, de saveur ou des risques pour le consommateur. Ces espèces sont très nombreuses et très variées notamment sur le plan morphologique (figure 1).

Il faut noter que les trois espèces fromagères employées régulièrement dans la fabrication de certains fromages (*Penicillium camemberti*, *Penicillium roqueforti* et *Geotrichum candidum*), peuvent aussi se développer sur d'autres spécialités fromagères. Elles deviennent alors indésirables et sont considérées comme des contaminants.

Les espèces contaminantes rencontrées en fromagerie appartiennent à trois grandes familles dont nous allons maintenant préciser les principales caractéristiques :

- Les Mucorales
- Les *Penicillium*
- Les *Aspergillus*

A) LES MUCORALES

Les Mucorales sont responsables de nombreux incidents en technologie fromagère. Les espèces impliquées le plus souvent sont [8] :

- *Mucor racemosus*
- *M. plumbeus*
- *M. hiemalis*
- *M. globosus*
- *M. fuscus*
- *M. mucedo*
- *Rhizopus stolonifer* = *R. nigricans*

Les *Rhizopus* comme les *Mucor* font partie de la famille des Mucoracées, dans l'ordre des Mucorales. Ce sont des Phycomycètes ou Siphomycètes car leurs hyphes ne sont pas cloisonnées mais unicellulaires ou siphonnées (voir annexes 1 et 2).

Morphologie

Les principales caractéristiques morphologiques de ces espèces sont regroupées dans le tableau I [8].

	<i>Mucor racemosus</i>	<i>Mucor plumbeus</i>	<i>Mucor hiemalis</i>	<i>Mucor globosus</i>	<i>Mucor fuscus</i>	<i>Mucor mucedo</i>
Colonie:						
Couleur	blanc-gris, brun-jaunâtre	gris-bleu, presque noir	blanc grisâtre, jaunâtre	brun-grisâtre, feutré	gris +/- foncé	blanc-jaunâtre, grisâtre
Hauteur (cm)	0,5-4 (souvent 1 cm)	0,2-1	1-2	1-2		1,5-2
Sporange:						
Forme	globuleux	sec, épineux	hygroscopique, sphérique	globuleux, gris-brun, brun-noir	brun-grisâtre foncé	hygroscopique, gris (cristaux d'oxalate)
Couleur	hialin à jaunâtre	gris	jaune à gris-brun	75-120		75-80
Dimensions (µm)	20-70	85-100	33-50-80			
Columelle:						
Forme	régulière, ovale ou sphérique	épines ovale ou piriforme	paroi lisse sphérique ou ovale	paroi lisse ovale ou piriforme	denticulée parfois au sommet, piriforme	sphérique cylindrique contenu jaune
Couleur	incolore	brun-jaunâtre	incolore	20-40 x 14-32	80-50	70-82-140 x 50-93
Dimensions (µm)	17-60 x 9-24	36-50 x 17-38	14-45-50			
Spores:						
Forme	lisses elliptiques	aspérulées, rondes	lisses, elliptiques	lisses, "enfumées"	aspérulées, globuleuses	cylindriques ou elliptiques
Couleur	jaune clair	brunâtres	incolores	noirâtres	brun-grisâtre pâle	
Dimensions (µm)	6-10 x 5-8	5x8,7	3-8 x 2-6	4-8	8-11	6-15 x 3-8
Zygote	+	(+)	+	+	-	+
Chlamydospores	Abondantes, lisses	+	-	+	Peu abondantes	+

TABLEAU I. — Morphologie comparée des principales espèces de *Mucor*. D'après DESFLEUR [8].

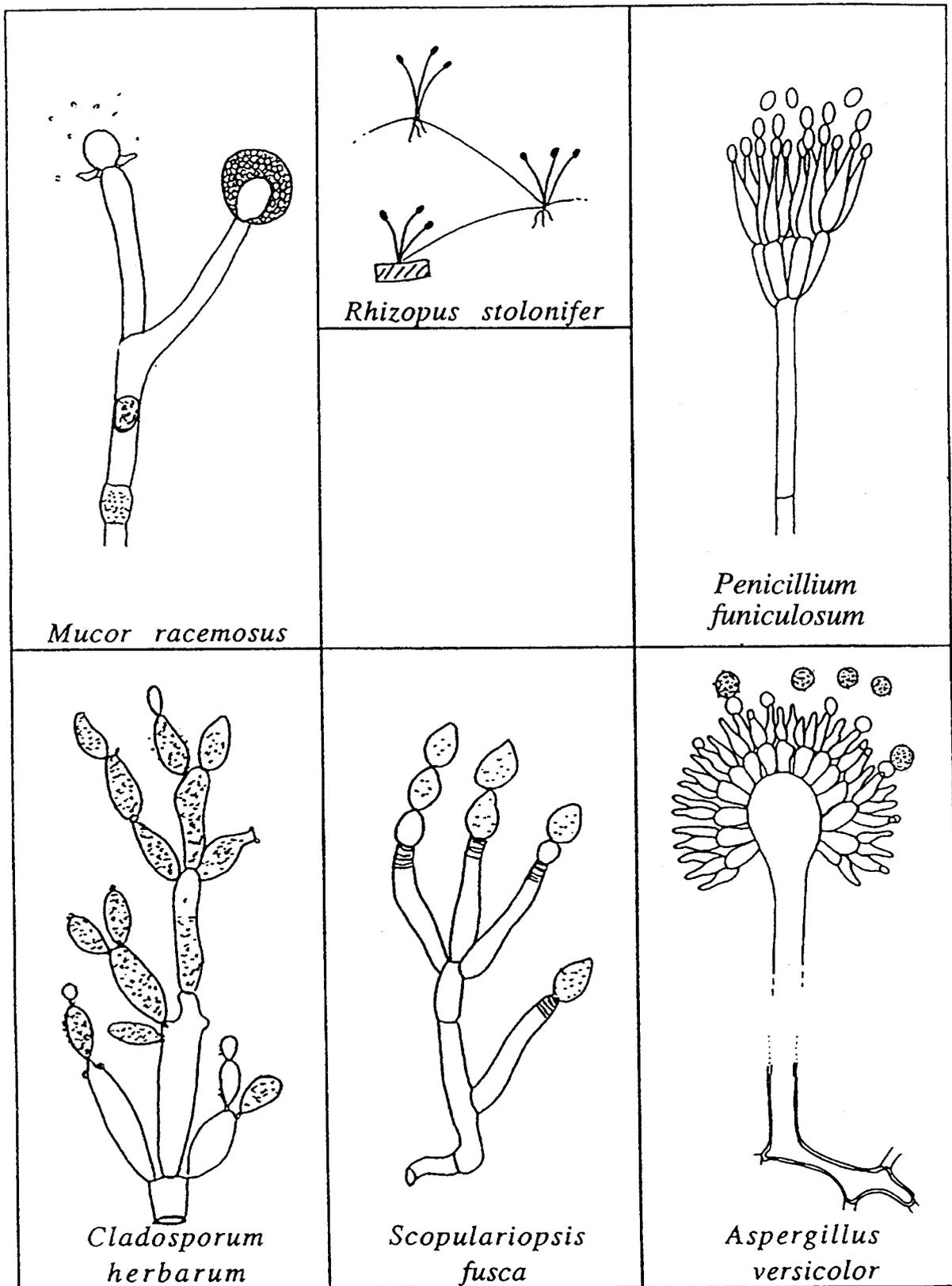


FIGURE 1. — Représentation schématique de quelques espèces fongiques, contaminants possibles en fromagerie.

M. racemosus est un des plus répandus. Il développe des thalles blancs ou blanc-jaunâtre, virant au brun en vieillissant. Il est caractérisé par une abondante production de chlamydo-spores : spores formées par des renflements d'une hyphes avec épaississement des parois ; ce sont des formes de résistance. Les conditions optimales de croissance de cette moisissure sont : une température de 22 °C, un pH de 4,5 et une absence ou une très faible teneur en sel. Elle est redoutée car capable d'envahir très rapidement toute la surface d'un fromage.

M. plumbeus se distingue par la présence d'une columelle épineuse très caractéristique.

M. globosus a une croissance végétative très rapide. Des colonies luxuriantes donnent un grand nombre de spores qui germent rapidement. (Température optimale : 23 °C ; pH optimal : 4-7,2).

Rhizopus stolonifer a une teinte très foncée. Il forme des stolons qui lui permettent de passer d'un fromage sur l'autre. De l'extrémité d'un stolon, partent les sporangiophores et d'autres stolons. La partie inférieure, formée par les rhizoïdes dans le milieu nutritif, est en « pied de fraiser ». *Rhizopus stolonifer*, nécessitant un substrat aqueux pour se développer (espèce très hygrophile), est heureusement un contaminant assez rare des fromages.

Conditions de développement et de reproduction

Les *Mucor* sont caractérisés par deux modes de reproduction différents selon les conditions : une reproduction asexuée et une reproduction sexuée [10].

La reproduction asexuée se fait par l'intermédiaire de sporanges ou sporocystes qui forment de petites boules noires à l'extrémité de filaments dressés. Elles se brisent facilement, libérant des milliers de spores (environ 30000) dont la paroi est facilement mouillable (figure 2). Une sorte de mucus semble les envelopper. On parle de myxospores (= spores humides) qui adhèrent facilement à n'importe quel support (mains, habits, matériel, moules, claies,...). L'eau, les surfaces ruisselantes, les vapeurs humides favorisent leur dispersion [2]. Les spores de *Mucor* germent très rapidement et les filaments mycéliens qu'elles produisent croissent également très vite (5 à 10 fois plus vite que ceux des *Penicillium*). Mais pour cela, en plus d'une humidité élevée, il est nécessaire que les spores soient en contact direct avec le milieu nutritif. Ainsi pour les fromages à pâte molle et croûte fleurie, une couverture précoce et uniforme par leur flore normale évitera le développement de ce type de contaminant.

Une fois implanté sur son support, le *Mucor* épuise rapidement les facteurs nutritifs nécessaires à son développement et différencie très tôt des sporanges. Le cycle continue.

Au cours de la reproduction sexuée, un oeuf est formé par la conjugaison des extrémités de courts rameaux. Ce zygote, cellule ronde à paroi épaissie appelée aussi zygosporé, demeure à l'état de vie ralentie. Cette forme de résistance, comme les chlamydo-spores, permet au *Mucor* de survivre à de mauvaises conditions, de résister à différents agents physiques ou chimiques tels que la dessiccation, la chaleur, les

antiseptiques,...[10]. Certaines spores résistent même à la digestion des ruminants et se retrouvent dans les fèces, prêtes à germer [24]. Dès que les conditions deviennent favorables, la germination commence. Le *Mucor* est donc une moisissure très répandue dont il est difficile de se débarrasser.

Remarque

Suivant le mode de reproduction, le *Mucor* se développe selon deux types morphologiques radicalement différents : l'un filamenteux, l'autre lévuriforme. Cette dualité, que l'on dénomme communément « dimorphisme moisissure-levure », est donc soumise aux facteurs environnementaux [10]. Le développement des *Mucor* en aérobiose (surface des fromages par exemple) conduit à une croissance typiquement « moisissure » tandis que la croissance « lévuriforme » n'apparaît que lorsque la culture est insuffisamment aérée (à la surface de contact fromage-support, par exemple).

Les *Mucor* apparaissent donc comme des espèces particulièrement adaptées à la colonisation de différents substrats humides (activité en eau supérieure à 0,93). Les fromages à pâte molle sont très sensibles à cet accident de fabrication appelé « poil de chat ».

B) LES *PENICILLIUM*

Les *Penicillium* sont les contaminants les plus fréquents en fromagerie. De nombreuses études soulignent cette prédominance mais aussi la diversité des espèces trouvées. Ainsi, BULLERMAN et OLIVIGNI se sont intéressés à la contamination du Cheddar : sur 349 souches de contaminants isolées, plus de 82 % appartiennent au genre *Penicillium* [6]. LAFONT et coll. ont analysé 235 échantillons de fromages de types variés et ont identifié 7 espèces de *Penicillium* différentes [20].

Morphologie

Contrairement aux *Mucor*, les *Penicillium* ont une croissance lente. Leur thalle est dense et a tendance à étouffer les autres espèces. Leurs spores ont des parois hydrophobes et sont très facilement dispersées (xérospores).

Conditions de développement

De manière générale, ce sont des moisissures particulièrement bien adaptées pour se développer sur et/ou dans le milieu « fromage ». En effet, ces micromycètes se développent très bien à une température de l'ordre de 15-25 °C, sur un milieu acide (pH : 4-5) à faible teneur en sel (1-2 %).

Le tableau II regroupe les principales espèces de *Penicillium* rencontrées comme contaminants et leurs caractéristiques morphologiques.

C) LES *ASPERGILLUS*

Bien que moins fréquents que les autres espèces, des *Aspergillus* ont été isolés sur certains types de fromages [33].

Les *Aspergillus* présentent des thalles de couleur très variée : noirs (*A. niger*), bleu-gris (*A. fumigatus*), verts (*A. versicolor* et *A. flavus*).

Espèces	Aspect des pénicilles	Aspect du thalle	Remarques
<i>P. expansum</i>	triverticillé asymétrique L(R)	fasciculé vert terne revers incolore	odeur de pomme
<i>P. brevicompactum</i>	triverticillé asymétrique L(R)	velouté vert-jaune revers vert-olive	thalle très court, compact
<i>P. viridicatum</i>	triverticillé asymétrique R	fasciculé jaune-vert revers jaunâtre	contamination possible de l'ail
<i>P. janthinellum</i>	biverticillé asymétrique très divariqué L(R)	Légèrement floconneux blanchâtre à gris revers orange-rouge	conidies très elliptiques
<i>P. funiculosum</i>	biverticillé symétrique L	funiculeux vert-jaune revers rosâtre	croissance possible à pH 1,8
<i>P. brunneo-violaceum</i>	biverticillé asymétrique R	fasciculé à laineux brunâtre revers orange-rouge	odeur forte conidies elliptiques
<i>P. cyclopium</i>	triverticillé asymétrique R	fasciculé bleu, gris, vert revers jaune	variété album sur le Saint Nectaire odeur de moisi
<i>P. nalgiovensis</i>	asymétrique divariqué L(R)	laineux blanc à jaune pâle revers orangé	moisissure du fromage d'Ellischauer salaisonnerie
<i>P. frequentans</i> (= <i>P. glabrum</i>)	monoverticillé L(R)	velouté vert-gris revers orange-brun	têtes cylindriques
<i>P. spinulosum</i>	monoverticillé L	aérien vert terne revers incolore	conidies épineuses
<i>P. thomii</i>	monoverticillé R	aérien blanc à gris-vert revers jaune à rosé	production de sclérotés possible
<i>P. oxalicum</i>	biverticillé asymétrique L	velouté bleu-gris pâle revers incolore	conidies elliptiques croissance à 37°C
<i>P. chrysogenum</i>	asymétrique triverticillé L	velouté jaune-vert brillant revers jaune vif	production de penicilline odeur aromatique

(L= conidiophore lisse; R: conidiophore rugueux)

(L : conidiophore lisse ; R : conidiophore rugueux)

TABLEAU II. — Principaux caractères morphologiques des *Penicillium* contaminants. D'après RAPER et THOM [32].

Morphologiquement, les *Aspergillus* se différencient par la présence, à l'extrémité du conidiophore, d'une vésicule portant les phialides. Sur le plan physiologique, ce genre a une température optimale de croissance supérieure à celle du genre *Penicillium* : puisque celle-ci se situe entre 25 °C et 30 °C. La plupart de ces espèces sont xérophiles et sont donc

capables de se développer sur des milieux à faible activité en eau (< 0,75).

L'importance de ce genre en tant que contaminant en fromagerie diffère selon les auteurs [1, 25]. On ne les rencontre pratiquement jamais sur les fromages à pâte molle. LAFONT et coll. ont isolé sur des fromages à pâte dure des souches

d'*Aspergillus versicolor* et d'*A. sydowi* [20]. Dans l'étude et l'inventaire des contaminants du Cheddar réalisés par BULLERMAN et OLIVIGNI, le genre *Aspergillus* représente 6,6 % des souches isolées [6]. Il semble que certains fromages comme les fromages à pâte pressée (Edam, Gouda) soient plus favorables au développement de ce type de contaminant [31] en raison d'une activité en eau faible en surface.

Le réel risque de contamination par ces moisissures viendrait de l'utilisation d'épices et de fines herbes dans ou sur des fromages frais [2, 19]. En effet, le poivre, par exemple, est une épice particulièrement riche en spores de bactéries (*Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*) et en moisissures du genre *Aspergillus* : *A. fumigatus*, *A. glaucus*, *A. niger*, *A. versicolor* et *A. flavus* [23, 26, 29]. D'autre part, en plus de la contamination secondaire du fromage et du risque d'altération de ce dernier, il existe un risque éventuel de synthèse de substances toxiques : certaines de ces espèces, comme *Aspergillus flavus*, sont potentiellement toxigènes.

D) AUTRES ESPÈCES

Cladosporium et *Scopulariopsis*

Cladosporium herbarum, appelé parfois *Hormodendron*, possède un thalle de couleur vert-brun foncé, ayant des conidies qui croissent l'une à partir de l'autre. Il se développe bien en milieu alcalin ou neutre, sur une large plage de température de -6 °C à 40 °C. Cette moisissure est très largement répandue, se développant sur les matières végétales en décomposition.

Scopulariopsis fusca et, plus rarement, *S. brevicaulis* sont des moisissures marron, au thalle floconneux, qui peuvent ressembler macroscopiquement à certains *Penicillium*. Ils diffèrent par leurs conidies verruqueuses qui se forment en chaîne avec une tronçature à leurs bases en forme d'anneau : l'ostiole. Ils ne poussent pratiquement pas en milieu acide et sont sensibles aux basses températures.

Autres

D'autres espèces peuvent contaminer les fromages. Mais, étant toutefois beaucoup moins fréquentes et n'entraînant pas de réel incident en fromagerie ou de véritable risque pour le consommateur, nous ne ferons que les citer [5] : *Sporendonema casei*, *Chrysonilia sitophila*, *Trichothecium roseum*, A celles-ci, s'ajoutent un ensemble de moisissures que l'on ne considère pas comme de réels contaminants car elles constituent la flore naturelle de surface de certains fromages à pâte pressée (Tome de Savoie, Saint-Nectaire...), participant plus ou moins à l'acquisition des caractéristiques organoleptiques de ces derniers au cours de l'affinage.

2. Les causes de contamination ; situation générale

La présence de contaminants dans les ambiances de fromageries n'induit pas systématiquement d'accident. Pour que la

moisissure indésirable se développe sur le fromage, il faut généralement que deux conditions soient réunies :

- une contamination massive par ce micro-organisme,
- une anomalie dans la fabrication, qui lui permette de s'installer dans le substrat et de proliférer aux dépens de la mycoflore utile souhaitée [14].

A) SOURCES DE CONTAMINATION

Les moisissures dites «contaminantes» sont pour la plupart ubiquistes. Ce sont des hôtes habituels du sol. On les rencontre dans les substances organiques en décomposition (fumier, fruits pourris pour les Mucorales et les *Cladosporium*), dans les céréales et les aliments du bétail (blé, maïs, paille, ensilage,... essentiellement pour les *Penicillium*) et sur d'autres substrats aussi divers que variés (le bois, le papier pour *Scopulariopsis*...).

— Pour les espèces à myxospores (ex : les *Mucor*), toute trace d'humidité est favorable à leur dissémination et à leur développement : condensation de vapeurs plus ou moins riches en composés nutritifs sur les plafonds et les murs froids mal isolés, ruissellement, écoulement des eaux de lavage polluées sur les chaînes de fabrication ou le sol, stagnation au niveau des regards d'égouts, ambiances saturées en eau et confinées des salles d'affinage, eaux stagnantes autour des usines... Ces spores peuvent être véhiculées par l'eau utilisée, au sein même de la fromagerie, pour le nettoyage et le rinçage du matériel et des locaux.

— Pour les espèces à xérospores (ex : les *Penicillium*, *C. herbarum*, *S. fusca*), tout mouvement d'air permet la dissémination des spores : écoulement brutal d'air froid dans une ambiance chaude, ventilation, allées et venues du personnel, balayages intempestifs...

D'autre part, les spores peuvent aussi être apportées par les matières premières entrant dans la composition du fromage. Il s'agit évidemment du lait qui peut être contaminé au cours de la traite ou par l'intermédiaire des ustensiles (ex : *P. roqueforti*). D'autres ingrédients peuvent aussi agir en tant que vecteurs de moisissures, essentiellement pour les genres *Aspergillus* et *Penicillium* :

- les épices (les poivres et le cumin [23]),
- les fines herbes (*Penicillium viridicatum* dans la purée d'ail),
- les fruits secs (les noix : des *Aspergillus* dans les cerneaux provenant des zones chaudes comme la Californie ou la Turquie ; des *Penicillium* dans les noix provenant de pays tempérés à froids comme la France, la Chine [4]).

Enfin, les insectes et surtout les acariens, friands de diverses moisissures, contribuent à leur dissémination.

B) CONDITIONS FAVORABLES À L'IMPLANTATION ET AU DÉVELOPPEMENT DE LA MOISSURE

De manière générale, le milieu fromage est un milieu relativement favorable au développement de moisissures. En

effet, il s'agit d'un substrat légèrement acide, à faible teneur en sel (1-3 %), ayant une activité en eau toujours supérieure à 0,90 et maintenu à des températures comprises entre 8 et 15 °C. Par ailleurs, les espèces contaminantes présentent souvent une plus grande faculté d'adaptation aux éventuelles variations du milieu que les espèces fromagères. Par conséquent, toute altération des caractéristiques physico-chimiques du fromage au cours de sa fabrication ou de son stockage (variation de température, de pH, d'hygrométrie,...) pourra favoriser l'implantation et la croissance d'une flore indésirable au détriment de la flore fromagère recherchée.

Ces différents paramètres étant souvent dépendants les uns des autres, il paraît illusoire d'établir des règles générales. Chaque accident étant particulier, il convient de réaliser une étude au cas par cas.

3. Principaux accidents de fabrication

Les moisissures indésirables peuvent se développer à la surface et/ou au sein même des pâtes fromagères. Elles entraînent alors diverses altérations : défauts de présentation parfois accompagnés de modifications de texture, altérations des qualités organoleptiques (saveur, arôme)...

Nous allons maintenant détailler les accidents les plus fréquemment rencontrés.

A) DÉFAUTS DE CROÛTAGE ET DE PRÉSENTATION

Accident dû aux *Mucor* : accident dit du «poil de chat»

Les fromages à pâte molle et croûte fleurie type Camembert (lait de vache) ou type Sainte-Maure (lait de chèvre) sont particulièrement sensibles aux contaminations par ces moisissures.

Description

Ces accidents peuvent se présenter sous deux formes : une forme bénigne et une forme aiguë [10]. La forme bénigne se manifeste par l'apparition, à la surface des fromages, de quelques touffes duveteuses blanchâtres terminées par des petites boules noires. L'aspect des thalles, rigides, parallèles et serrés, rappelle les poils d'un chat d'où le nom donné à cette anomalie [28]. En général, cette forme ne dure que quelques jours et n'atteint qu'un nombre limité de fromages. Par contre, dans la forme aiguë, des lots entiers de fromages doivent être déclassés voire éliminés car invendables. Leur surface est envahie de touffes grisâtres à noirâtres donnant au produit un aspect peu engageant, une odeur plus ou moins prononcée de moisi et un goût altéré (figure 3).

Les symptômes apparaissent, en général, au bout de 2 à 3 jours d'affinage, c'est-à-dire 4 à 5 jours après l'emprésurage, mais toujours avant le développement de la flore normale. En effet, les thalles du *Mucor* sont souvent installés dès le moulage des caillés, avant même la pulvérisation superficielle des spores de *Penicillium*. Le problème du poil de chat est donc avant tout un problème de compétition entre ces

deux espèces. Si le *Mucor* est installé le premier, il gêne la croissance du *Penicillium* ; il supporte mieux l'anaérobiose, ses spores germent plus vite à la température ambiante des haloirs de la fromagerie (environ 12 °C pour ce type de fabrication fromagère) et ses hyphes s'allongent et se ramifient rapidement. De plus, même si le fromage est bien recouvert par le *Penicillium*, le *Mucor* peut s'implanter au niveau de la surface de contact avec la claie, l'anaérobiose partielle n'ayant pas d'incidence sur sa germination, contrairement à *P. camemberti* [24].

Finalement, les conditions dans les haloirs conviennent souvent mieux au développement des *Mucor* que du *Penicillium camemberti* [28].

Sur le plan physico-chimique, les conditions favorables à l'apparition de cette altération sont [2] :

- un pH au démoulage trop élevé : pH > 4,8,
- une hygrométrie trop importante : > 85% dans les salles de ressuyage, > 91% dans les locaux d'affinage,
- un taux de sel trop faible (< 1%).

Sources et conditions de contamination

Les *Mucor*, champignons saprophytes, sont particulièrement abondants sur les murs, plafonds, carrelages des salles de fabrication [28]. La contamination est possible par les mains ou les bottes du personnel qui circule dans les différents locaux. Dans d'autres cas, c'est le matériel (étagères, claies, stores, ...) trop sommairement nettoyé qui permet de véhiculer des spores. Le bain de saumure peut être lui aussi contaminé par ces myxospores et devenir alors un véritable «diffuseur» de spores.

L'eau utilisée pour le nettoyage et le rinçage du matériel a aussi pu être incriminée lors d'un accident de poil de chat [24]. Des analyses ont, en effet, alors révélé une forte contamination de l'eau. Le degré de contamination était variable selon son origine (pluie > adduction > puit), et d'autant plus important que l'eau était stockée dans des bassins intermédiaires. L'eau d'adduction peut être contaminée lors de périodes où la chloration est insuffisante ou par une pollution des canalisations entre le point de chloration et le point d'utilisation. Pour l'eau de source avec bassin de stockage, la contamination peut avoir lieu à la source mais le plus souvent dans les bassins à ciel ouvert, ou mal couverts. L'eau de pluie stockée en citerne peut être contaminée par l'intermédiaire des toitures souillées et des citernes non nettoyées.

En conclusion, deux caractéristiques peuvent définir les contaminations par les *Mucor* en technologie fromagère : la soudaineté et le caractère invasif et ceci aussi bien à l'échelle industrielle qu'artisanale ou même encore fermière. Dans ce dernier type de fabrication, le fromager ne domine pas complètement les facteurs ambiants. Les accidents dus au *Mucor* revêtiront alors un caractère saisonnier. On les rencontrera plus particulièrement au printemps ou en automne, c'est-à-dire lorsque l'atmosphère est enrichie en spores.

Compte tenu de la complexité physiologique des *Mucor* et de leur très grande capacité d'adaptation, il paraît impossible

de définir une méthode générale de prévention. C'est un ensemble de facteurs qui entraîne ces accidents ; c'est donc un ensemble de moyens qu'il faudra mettre en oeuvre pour les éviter.

Accident dû aux *Penicillium* : accident du «bleu»

Ce type d'accident touche tout particulièrement les fromages à pâte molle et croûte fleurie ; il peut à l'occasion se rencontrer sur les fromages à pâte pressée.

L'accident du «bleu» peut être dû à plusieurs espèces de *Penicillium* ; il existe ainsi des variations dans le délai d'apparition, la durée, la gravité et les aspects observés. D'une manière générale, cet accident se manifeste par l'apparition de taches bleu-verdâtres plus ou moins étendues, voire par l'envahissement total de la surface.

— *Penicillium expansum*, agent de la pourriture des pommes et des poires, est responsable d'un accident précoce. La cause a été attribuée, à l'origine, à des temps trop longs entre les retournements. Mais suite à des accidents de «bleu» sur des fromages de type camembert, les fromagers se sont rendus compte que les souches de *P. camemberti*, trop acidophiles, se développaient mal à la surface du fromage, rendue alcaline par l'addition d'un sel trop riche en carbonate de magnésium [28]. Au contraire, *P. expansum* qui est beaucoup moins sensible aux variations de pH, pouvait s'implanter à la place de *P. camemberti* [14].

Actuellement, les souches de *P. camemberti* peuvent se développer à pH plus élevé et les additifs ajoutés au sel sont différents. Mais l'accident peut encore se produire si une acidification insuffisante est associée à l'emploi de souches de *Penicillium* à tendance acidophile trop marquée.

— *P. roqueforti*, levain des fromages à pâte persillée, moisissure capable de pousser en atmosphère pauvre en oxygène, peut provoquer des accidents à l'intérieur des fromages frais ou à pâte molle [14]. Il a été mis en évidence dans des camemberts au lait cru et dans des pavés d'Auge fermiers, dont l'apparence extérieure semblait normale [15]. Une altération analogue a été observée dans des camemberts au lait pasteurisé. L'accident avait pour origine, une contamination du lait par des conidies venant de l'ensilage moisi donné aux vaches dans le premier cas, une contamination de l'ambiance des salles de fabrication dans le second. L'implantation du *Penicillium* indésirable est favorisée par le feuilleteage du caillé ainsi que les trous de moulage. Le feuilleteage du caillé résulte d'un temps trop long entre le dépôt du contenu de deux louches successives dans le moule, la dernière ne se soudant pas complètement à la précédente. Les trous de moulage se forment lorsque l'égouttage est incomplet, lorsque la fermentation lactique est insuffisante ou lorsque des germes «gonflants» sont présents (coliformes) [15].

Si son métabolisme particulier favorise l'implantation du *P. roqueforti* à l'intérieur du caillé, il est aussi tout à fait possible de rencontrer un développement de cette espèce fongique en surface de certains fromages, entraînant l'apparition d'un défaut d'aspect superficiel (figures 4 et 5).

— *P. brevicompactum*, ayant pour habitat la terre et le bois, peut être responsable d'un accident tardif sur le camembert ; des taches uniquement superficielles se forment vers le 12^{ème} jour d'affinage voire après l'emballage [18]. Cette espèce très sporulante contamine précocement le fromage mais, ayant une croissance très lente, son développement n'est visible que tardivement. Une étude montre que les origines de ce type d'accident peuvent être variées : travaux de terrassement dans une usine voisine, séchage des plateaux en plein air [18].

— *P. viridicatum*, moisissure du sol qui participe activement à la décomposition des résidus organiques, peut également former tardivement des taches sur des fromages comme le camembert et le Pont-l'Évêque.

Cette moisissure «poudre» beaucoup, c'est-à-dire qu'elle forme un grand nombre de spores qui se détachent facilement et que l'air dissémine aisément. DESFLEURS a incriminé, comme vecteur de ces spores, les emballages en bois (boîtes et cageots) [7].

— *P. janthinellum*, espèce très couramment rencontrée dans le sol, peut être responsable de taches grisâtres, apparaissant au bout de quelques jours, par exemple sur des fromages de Neufchatel au lait cru [2].

Remarques :

Les *Penicillium* peuvent être responsables d'altérations de surface des fromages autres que les accidents du «bleu».

Il a été noté que *P. funiculosum*, s'implantant très tôt sur le caillé, avant même le développement de *P. camemberti*, peut entraîner la formation de taches violacées sous la croûte. Cet accident est rare. Il semblerait que les spores proviennent du matériel de fabrication contaminé et que la croissance de cette moisissure soit favorisée par une forte teneur du lait en matière grasse [28].

P. brunneo-violaceum peut provoquer des taches brunâtres sur le camembert. Cette moisissure produit de l'acide pubéru-lique, naturellement incolore qui prend une teinte brune en présence de perchlorure de fer. La coloration apparaît donc lorsque le lait ou le caillé se trouve au contact de métaux ferreux [14].

Accidents dus à *Geotrichum candidum* : accident de la «graisse» et de la «peau de crapaud»

Utilisé comme levain fongique, il fait partie de la flore normale de nombreux fromages à pâte molle ou à pâte pressée non cuite, chez lesquels il contribue à améliorer les qualités organoleptiques et, pour certaines souches, à diminuer les risques de «poil de chat».

Mais si le développement de *G. candidum* est trop important, il provoque un véritable accident qui touche surtout les fromages à pâte molle.

Lorsqu'il est accompagné d'autres micro-organismes comme des levures, des microcoques et des micro-organismes intervenant dans la morge (annexe 2), le caillé se recouvre très rapidement d'une couche gluante, grasseuse qui glisse sous les doigts et que les fromagers appellent

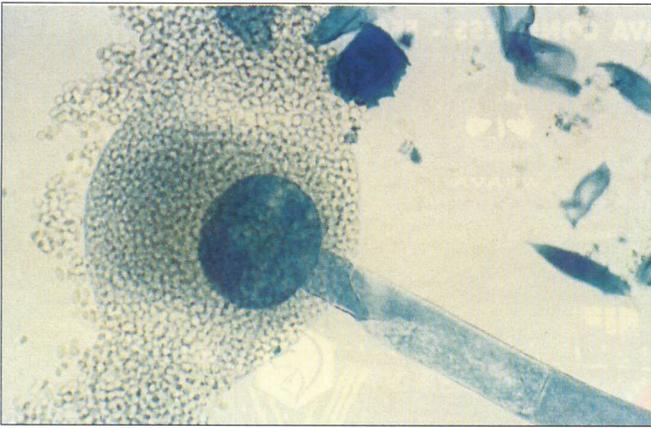


FIGURE 2. — Vue microscopique d'une sporange de *Mucor mucedo* en train d'éclater, libérant des milliers de spores.



FIGURE 3. — Fromage de chèvre contaminé par du *Mucor*. Les thalles longs, dressés en rangs serrés rappellent l'aspect du poil de chat, d'où le nom donné à cette anomalie (accident du «poil de chat»).



FIGURE 4. — Fromage de chèvre contaminé par : - *Penicillium roqueforti* (tâches bleu-vertes) - *Cladosporium herbarum* (petite tâche noirâtre).

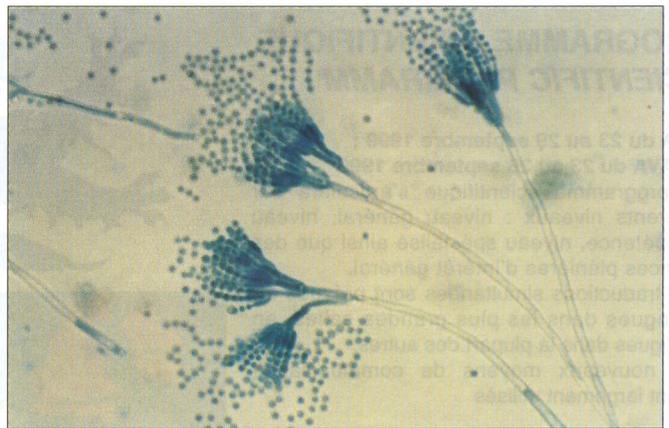


FIGURE 5. — Vue microscopique de *Penicillium roqueforti* montrant les têtes conidiennes, à pénicilles asymétriques et spores globuleuses.

«graisse». Cette peau grasse empêche la flore désirée de s'implanter correctement, en l'occurrence le *Penicillium camemberti* [14]. La texture et les qualités organoleptiques du fromage sont altérées.

Le développement exagéré du *G. candidum* seul, produit le défaut dit «grosse peau» ou «peau de crapaud». La croûte du fromage est épaisse, très ridée, boursouflée, se décollant facilement car les enzymes puissantes du *Geotrichum* ont solubilisé la pâte [9].

Le contrôle de l'implantation du *Geotrichum* passe par :

- un salage plus précoce (le *Geotrichum* est très sensible au sel),
- un salage légèrement plus important,
- un salage à sec au lieu de la saumure [2],
- une diminution de température des salles de fabrication et des haloirs,
- éventuellement, le maintien des caillés atteints à 4 °C pendant 24 heures [14].

Autres défauts de présentation d'origine fongique

— *Cladosporium herbarum*

Cette moisissure peut former des petites taches poudreuses vertes à noires sur la croûte de fromages à pâte molle [16] (figure 4), à pâte pressée non cuite (Saint-Nectaire, Tomme de Savoie) ou cuite [14].

Cet accident est d'apparition plutôt tardive (vers le 9^{ème} ou 11^{ème} jour) car *C. herbarum* supporte difficilement les pH acides. Il contamine préférentiellement les fromages au printemps ou à l'automne. Sa grande résistance aux basses températures (jusqu'à -6 °C) en fait l'un des principaux contaminants des chambres frigorifiques. Il s'installe également sur les plafonds des caves d'affinage, dans les gaines d'aération... Il «poudre» beaucoup ; ainsi un simple courant d'air permet la dissémination des spores. Un accident a été décrit où la dissémination était assurée par les appareils de conditionnement d'air du haloir. Les ailettes étaient recouvertes de spores qui, une fois sèches, étaient dispersées par la ventilation [16]. Espèce cellulolytique, cette moisissure peut être apportée par le bois des palettes et des cageots.

— *Scopulariopsis*

Scopulariopsis fusca provoque l'apparition de taches sèches, farineuses, brunâtres, virant parfois au mauve-violet. Agent de décomposition extrêmement actif, il prend la suite des *Penicillium* sur les végétaux et les produits d'origine animale riches en protéine. Préférant les pH neutres, il s'installe sur les fromages affinés, en fin de période de cave et plutôt sur des fromages à pâte molle (Camembert, Pont-l'Évêque) et pâte pressée (fromages à raclette). On le rencontre aussi sur les fromages de chèvres de fabrication artisanale. Il entraîne alors l'apparition d'un goût piquant [28]. Quant à la contamination par *S. brevicaulis*, elle induit, en plus, le développement d'une odeur ammoniacale très caractéristique.

Ces moisissures sont cellulolytiques ; on les retrouve souvent apportées par les papiers ou les cartons d'emballage [17]. Aussi faut-il recommander de stocker ceux-ci dans des locaux secs, distincts des salles de fabrication et de procéder à des désinfections régulières des salles d'emballage [2].

— *Geotrichum fragrans*

Cette moisissure peut se développer au coeur du fromage de Roquefort dans les cavités habituellement tapissées par le mycélium de *P. roqueforti*. Sa présence semble inhiber la croissance du *Penicillium* car elle donne des fromages où le «bleu» est moins important et où apparaissent, à la place, des taches de couleur crème à rosée. La cause principale serait une variation de la pression osmotique et une teneur insuffisante en sel au sein du fromage. L'accident intervient en période estivale, les fortes chaleurs étant accompagnées d'une prolifération bactérienne importante et donc d'une forte acidification favorable au développement de *G. fragrans*. La partie du fromage contaminée présente à la dégustation une consistance caoutchouteuse résultant d'une caséolyse

différente de celle induite par *P. roqueforti*, et un goût de «vieille croûte de camembert desséchée» [13].

Remarque :

Les fromages de type Saint-Nectaire ou Tomme de Savoie, où la flore fongique naturelle superficielle est particulièrement riche, peuvent subir de légères dépréciations de présentation lorsque l'une ou plusieurs de ces moisissures prennent trop d'extension, ce qui entraîne le développement trop marqué de certaines teintes (jaune soufre, orangée). Il ne s'agit pas, à proprement parler, d'un accident de fabrication [2].

B) DÉFAUTS DE SAVEUR ET D'ARÔME

L'amertume

Défaut de saveur relativement fréquent, l'amertume résulte d'une accumulation trop importante, au cours de l'affinage, de peptides amers. Ce sont des peptides de petite taille, caractérisés par la présence en position terminale d'acides aminés tels que la leucine, la phénylalanine ou la tyrosine.

Les différents agents intervenant dans la protéolyse du fromage (présure, ferments lactiques, autres bactéries, levains fongiques) participent plus ou moins, selon le type de fromage, à la formation de cette amertume. En fabrication du Camembert, la cause majeure de l'amertume résulte d'une trop grande activité de la protéase acide de *P. camemberti*, éventuellement liée à un pH de surface trop faible (figure 6) [2]. Ce goût est localisé essentiellement sous la croûte, le coeur du fromage n'étant pas atteint.

Il existe différents moyens pour limiter, voire éviter ce défaut :

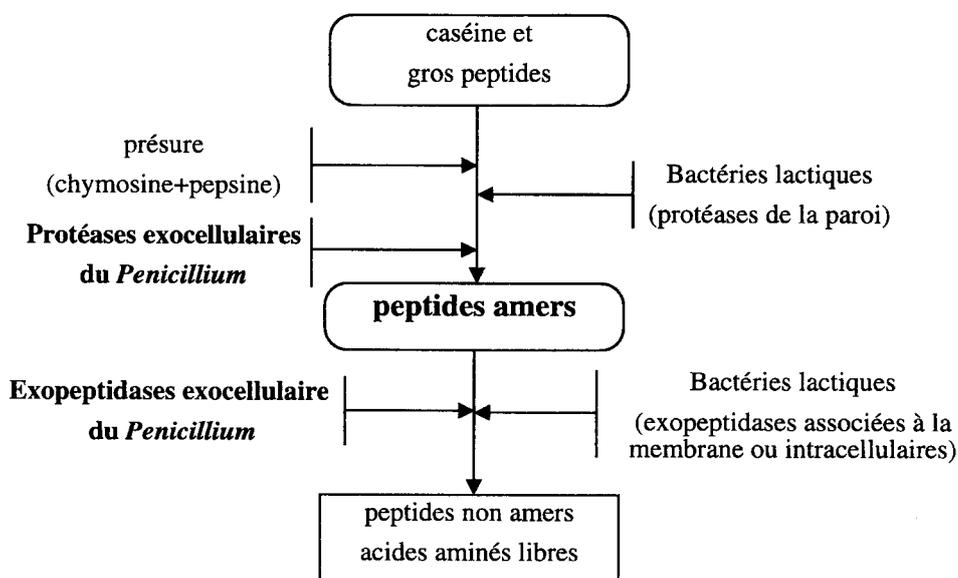


FIGURE 6. — Mécanisme de formation de l'amertume dans les fromages de type Camembert. D'après BERGÈRE et coll. [2].

— remontée du pH plus précoce, obtenue par incubation des fromages en atmosphère ammoniacale [34],

— implantation contrôlée de *Geotrichum candidum*, limitant le développement du *Penicillium* et aussi son activité protéolytique [27; 30].

Goût de rance

Le goût de rance dans les fromages est dû à une teneur anormalement élevée en acides gras libres. Ceci peut découler d'un choix de souches microbiennes trop lipolytiques. *P. camemberti* ou *P. roqueforti* présentent, en effet, des aptitudes à produire des lipases très variables d'une souche à l'autre [21, 22].

Goût de cellulose

Ce défaut de saveur se rencontre dans les camemberts, les bries, les carrés de l'Est. Il est dû à une production par certaines souches de *P. camemberti* de styrène et est lié à un dérèglement de leur métabolisme oxydatif [2].

Goût de champignon

Ce goût résulte d'une production par certaines souches de *P. camemberti* d'une dose anormalement élevée de 1-octène-3-ol, composé issu de l'oxydation des acides gras polyinsaturés.

Goût de kérosène

Certaines souches de *P. roqueforti* ont la possibilité de décarboxyler l'acide sorbique ou les sorbates ajoutés comme agents de conservation. La molécule formée, 1-3-pentadiène, est responsable de ce défaut de saveur [14].

Goût «levuré»

Le goût «levuré», saveur douçâtre, est dû à un développement excessif de *Geotrichum candidum*. Les fromages les plus sensibles sont les fromages frais (fromages blancs, petits-suisses). Ce type de produit, par ses caractéristiques physico-chimiques, est très propice au développement des levures et du *Geotrichum candidum*.

ENGEL a analysé plus de 300 fromages frais ; 18 % des échantillons contenaient du *G. candidum* à des teneurs très élevées, parfois supérieure à 10^5 propagules/g. Or il suffit d'une spore de *G. candidum*/kg de caillé au moment de la fabrication pour induire une population de 10^5 propagules/g après 21 jours à 10 °C. Le seuil d'apparition du goût levuré se situe environ entre 4×10^3 et 10^4 *G. candidum*/g de caillé [14]. La Date Limite de Consommation (DLC) des fromages frais étant en général de 30 jours, il sera donc possible d'avoir un tel développement de *G. candidum*. Cette contamination massive résulte d'un défaut d'hygiène lors de la fabrication et du conditionnement de ce type de produits.

Goût de terre

Le levain *P. roqueforti* peut se trouver contaminé au stade de production par une espèce morphologiquement très voi-

sine, *P. verrucosum* var. *cyclopium*. Cela a pour conséquence l'apparition de goût terreux, parfois amer et provoque ainsi la dépréciation des fromages à pâte persillée. Il est donc primordial de contrôler la pureté des levains fongiques.

Les accidents dus aux moisissures sont donc potentiellement nombreux en fromagerie; ils peuvent survenir sur différentes fabrications fromagères et être liés au développement d'espèces fongiques variées. Cette variété fait qu'il n'existe pas de mesure prophylactique type. Chaque cas est particulier et, le plus souvent, c'est un ensemble de facteurs qui est à l'origine de l'accident et, par conséquent, c'est un ensemble de mesures prophylactiques qu'il va falloir mettre en oeuvre pour éviter leur apparition.

4. Maîtrise des accidents d'origine fongique

D'une façon générale, la prévention des risques mycologiques dans l'industrie fromagère passe :

— d'une part, par la maîtrise de l'hygiène au sens large du terme.

— d'autre part, par l'utilisation de ferments fongiques de bonne qualité.

Dans ce cadre, l'utilisation de la démarche HACCP (Hazard Analysis- Critical Control Point) que l'on peut traduire par «Analyse des dangers- points critiques pour leur maîtrise», recommandée par la réglementation européenne et nationale pour assurer la salubrité des produits alimentaires livrés aux consommateurs [11, 12], représente un outil intéressant pour les producteurs. L'avantage d'une telle démarche dans ce domaine est qu'elle est applicable à tous les niveaux, de la grande fromagerie industrielle, au petit producteur indépendant.

Avant d'envisager l'application du HACCP dans la fabrication fromagère, il convient de rappeler rapidement les grands principes de cette démarche.

Conformément aux exigences réglementaires, le HACCP vise à :

— identifier tout danger de nature biologique, physique ou chimique, que pourrait représenter un produit alimentaire lors de sa consommation,

— identifier les différents stades du procédé de fabrication d'un produit alimentaire qui sont associés à l'apparition de ces dangers,

— définir les moyens nécessaires à la maîtrise de ces dangers,

— s'assurer que ces moyens sont effectivement mis en oeuvre et sont efficaces.

L'utilisation du HACCP permettra donc de se prémunir contre les problèmes relatifs à l'hygiène et à la sécurité des aliments avant qu'ils n'apparaissent ; parallèlement, elle peut aussi permettre de lutter contre l'altération des produits.

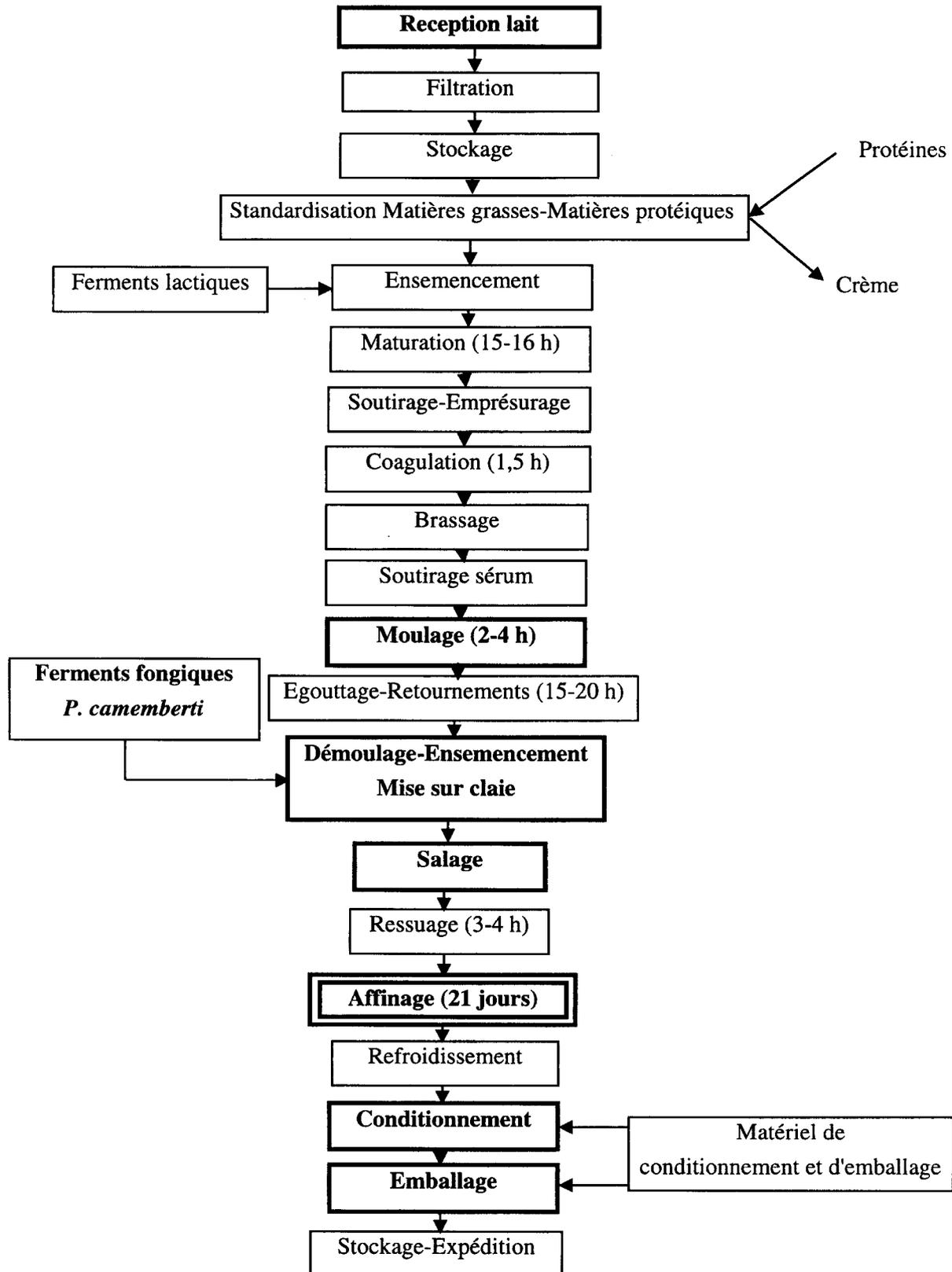


FIGURE 7. — Schéma de fabrication d'un fromage au lait cru à pâte molle et croûte fleurie (de type Camembert). **□** : étapes à risque de contamination par des moisissures indésirables. □ : étape présentant un risque de contamination et de développement des espèces indésirables. Les temps indiqués entre parenthèses correspondent aux durées approximatives de chacune des étapes.

Désinfectants		Moisissures	Bactéries Gram +	Bactéries Gram -	Virus
Halogènes	chlorés	++	+++	+++	+
	iodés	+++	+++	+++	+
Aldéhydes		++	+++	+++	++
Alcools		+/-	++	++	+/-
Phénols		++	+++	+/-	+/-
Tensio-actifs					
	- anioniques	++	+++	+	?
	- cationiques	+/-	+++	+	+/-
	- amphotères	+++	+++	+++	+
Mercuriels		++	++	+	0
Biguanides					
	- chlorhexidine	+	+++	++	0
	- hexamidine	++	+++	++	0
Carbanilides		++	+++	++	?

+++ : très bonne activité ; ++ : bonne activité ; + : efficacité inconstante ;
+/- : efficacité faible ; 0 : efficacité nulle ; ? : efficacité mal connue.

TABLEAU III. — Spectre d'activité des principales familles de désinfectants. D'après BOTTON [3].

Toute étude HACCP est originale, valable uniquement dans les conditions spécifiques de l'entreprise où elle est conduite. Toutefois, compte tenu de la très grande variété des fabrications fromagères, il apparaît illusoire de vouloir envisager ici tous les cas de figure. Par ailleurs, la maîtrise des dangers microbiologiques revêt une importance toute particulière pour les fabrications au lait cru, toutes les mesures préventives devant alors être appliquées avec encore plus de rigueur, d'un bout à l'autre de la chaîne. C'est pourquoi nous allons maintenant illustrer nos propos à l'aide d'un exemple de fabrication d'un fromage au lait cru, à pâte molle et croûte fleurie (de type Camembert).

Parmi les différentes étapes de fabrication d'une telle spécialité fromagère (figure 7), certaines présentent des risques particulièrement importants de contamination et/ou de multiplication des moisissures indésirables, d'où la nécessité d'une vigilance accrue dans le respect des recommandations hygiéniques à chacune de ces étapes.

a- Au stade de la réception du lait cru, la qualité de la matière première utilisée est fondamentale car aucun traitement thermique ultérieur ne peut permettre d'améliorer sa qualité microbiologique. Le lait ne doit donc pas contenir de spores de moisissures contaminantes en trop grande quantité (*Cladosporium herbarum*, Mucorales, ...). Pour cela, il faut qu'au niveau de l'atelier de fabrication, les cuves de trans-

port, les circuits de réception et les cuves de stockage soient régulièrement nettoyées et désinfectées. Mais il faut aussi que des mesures d'hygiène soient prises plus en amont, chez le producteur laitier qui doit respecter une hygiène rigoureuse de la traite ainsi que la réalisation des programmes de nettoyage-désinfection de tout le matériel (machine à traire, tuyauterie, tank de réfrigération et de stockage du lait) avec des produits adaptés (Tableau III).

b- Toutes les étapes allant de la standardisation des taux de matières grasses et de matières protéiques du lait au soutirage du sérum ne sont pas des étapes à haut risque de contamination par des moisissures indésirables mais doivent bien entendu être effectuées dans les meilleures conditions d'hygiène possibles et avec du matériel très propre, régulièrement nettoyé et désinfecté. Au cours de toute ces étapes on s'efforcera de limiter au maximum l'intervention humaine et, dans tous les cas, on doit interdire tout contact manuel direct avec le lait ou le caillé, car l'homme peut être un vecteur de contamination.

c- Le moulage est une étape qui présente des risques élevés de contamination, plus encore lorsqu'il est effectué à la louche. La nature de ces risques est variée. On peut tout d'abord avoir une contamination par le matériel, les moules, les louches, si ceux-ci sont mal lavés, mal désinfectés ou encore mal séchés. En effet, le séchage s'avère être une étape

très importante pour éviter une contamination éventuelle par des myxospores (Mucorales). Le séchage des moules à l'air libre est à proscrire en raison de l'abondance des spores de différentes espèces dans l'atmosphère. Il peut être nécessaire de prévoir, au sein de l'atelier de fabrication, un local spécifiquement destiné à cet usage. D'autre part, le moulage à la louche, lorsqu'il est fait trop lentement peut entraîner un feuilletage du caillé, feuilletage qui sera ensuite favorable au développement des spores de *P. roqueforti* si celles-ci sont présentes dans le lait.

d- L'ensemencement du caillé par les levains fongiques (*P. camemberti*) est une étape qui présente un risque de contamination mais qui va aussi influencer les possibilités de multiplication ultérieure des espèces contaminantes. Tout d'abord, il est nécessaire d'utiliser des ferments de très bonne qualité, c'est à dire, dépourvus de contaminants mais aussi possédant des aptitudes physiologiques leur permettant de se développer rapidement sur le fromage. Plus ce développement sera rapide, plus les risques de voir une espèce indésirable apparaître seront minces. C'est l'effet barrière de la flore fongique souhaitée. Pour que ces ferments se développent rapidement, il faut que l'ensemencement soit suffisamment abondant et qu'il soit effectué sur un substrat adéquat. Le caillé doit présenter des paramètres physico-chimiques permettant la croissance des ferments fongiques (pH, teneur en eau, ...).

e- L'étape de salage qui suit l'ensemencement est, elle aussi, une étape à risque, non pas que l'on risque de contaminer le caillé, mais surtout parce qu'il est possible, en salant trop ou trop peu, de créer des conditions favorables au développement des spores contaminantes éventuellement présentes. En effet, de manière générale, les moisissures sont très sensibles à la teneur en sel du substrat mais les espèces contaminantes sont capables de supporter de plus grandes variations que les espèces fromagères.

f- Pendant l'étape d'affinage, il existe à la fois un risque de contamination du fromage et un risque de multiplication des spores contaminantes déjà présentes dans le caillé. L'atmosphère des chambres d'affinage est, bien entendu, particulièrement propice au développement des moisissures. Le problème est que les espèces contaminantes ont en général une vitesse de croissance supérieure à celle des espèces fromagères. Par conséquent, une contamination du caillé au cours des étapes précédentes deviendra rapidement visible pendant la période d'affinage. L'hygiène de ces locaux est aussi très importante car ils ne doivent pas représenter un réservoir de contaminants susceptibles ensuite de se développer sur les fromages. Cependant, ces salles possèdent, en général, une flore naturelle très utile car participant activement à l'affinage des fromages (surtout lorsque l'affinage s'effectue en cave naturelle comme dans le cas du Roquefort par exemple). Il est donc souvent impossible de désinfecter ces pièces sans perturber la production. Le fromager devra donc trouver le bon équilibre entre nettoyage et maintien de l'atmosphère des salles d'affinage. Ceci passe, le plus souvent, par une maîtrise des systèmes d'aération, des allées et venues des personnels et de l'hygiène des manipulations.

g- L'étape d'emballage-conditionnement est la dernière étape à risque en ce qui concerne une éventuelle contamination par des moisissures indésirables. En effet, comme nous l'avons évoqué précédemment, de nombreuses espèces contaminantes (*Scopulariopsis*, *Cladosporium herbarum*, ...) sont susceptibles de se développer sur le bois ou le papier utilisés au cours de cette étape.

En conclusion, la fabrication d'un fromage au lait cru à pâte molle et croûte fleurie comporte un certain nombre d'étapes pouvant permettre une contamination et/ou une multiplication de moisissures contaminantes. Aucune étape du procédé de fabrication ne permettra de détruire les éventuels contaminants et, par conséquent, seules des mesures de prévention adaptées et scrupuleusement respectées peuvent permettre d'éviter l'apparition d'accidents. Ces mesures doivent permettre :

- d'éviter la contamination.
- d'éviter la multiplication d'une flore fongique indésirable.

Pour cela, conformément à la réglementation, les professionnels mettent en place des guides de bonne pratique de fabrication fromagère qui permettent à chacun de mieux maîtriser les règles fondamentales d'hygiène au sein de leur atelier. Ceci doit, certes, leur permettre de livrer des produits salubres, c'est à dire sans risque pour le consommateur, mais aussi dépourvus d'altérations qui diminueraient leur valeur économique.

Conclusion

Le fromage est un substrat particulièrement favorable au développement des moisissures. Certaines espèces, dites fromagères, jouent un rôle important dans de nombreuses fabrications en permettant au fromage d'acquérir la plupart de ses caractéristiques organoleptiques. Toutefois, le développement sur cet aliment de moisissures indésirables peut le rendre invendable en altérant son aspect et/ou son goût. Les espèces potentiellement contaminantes en fromagerie sont nombreuses. Ce sont des moisissures ubiquistes capables de s'adapter rapidement aux conditions du milieu, toute modification des paramètres physico-chimiques du substrat favorisant leur développement aux dépens de la flore fromagère utile. La prévention de tels accidents de fabrication passe, premièrement par la maîtrise de l'hygiène, pour éviter la contamination par des espèces indésirables, et deuxièmement, par la maîtrise de la technologie fromagère, de manière à éviter la multiplication des moisissures contaminantes éventuellement présentes. La mise en place d'une démarche HACCP peut aider les producteurs, d'une part, à mieux cerner les étapes à risque et, d'autre part, à définir les mesures à mettre en oeuvre pour éviter ces accidents de fabrication.

Annexe 1 Classification des moisissures

- Division I: *GYMNOMYCOTA*: Appareil végétatif dépourvu de paroi. Présence de myxamibes et de plasmodes.
- Division II: *MASTIGOMYCOTA* : Reproduction asexuée typiquement par spores mobiles (zoospores).
- Division III: *AMASTIGOMYCOTA* : Pas de cellules mobiles.
- 1- *Zygomycotina*: Zygomycètes et Trichomycètes
Mycélium sans cloisons. Reproduction asexuée le plus souvent par des sporocystospores (**Mucorales**) ou parfois par des "conidies exogènes" (Entomophthorales). Reproduction sexuée par fusion de gamétocystes.
- 2- *Ascomycotina*: Thalle à mycélium septé ou unicellulaire (levures). Reproduction sexuée par formation de spores méiotiques (ascospores) dans des asques. Reproduction asexuée par conidies.
- 3- *Basidiomycotina* Basidiomycètes
Thalle à mycélium septé ou unicellulaire (levures). Reproduction sexuée avec formation de spores méiotiques (basidiospores) sur des basides.
- 4- *Deuteromycotina*: Deutéromycètes ou Fungi Imperfecti
Thalle à mycélium septé ou unicellulaire (levures). Pas de reproduction sexuée connue. Reproduction asexuée par conidies, parfois absentes (mycélium stérile). (*Penicillium, Aspergillus, Cladosporium*)

Groupe des Deuteromycètes

- BLASTOMYCETES: Levures avec ou sans pseudomycélium.
- HYPHOMYCETES: Champignons filamenteux, stériles (Agonomycétales) ou produisant leurs spores directement sur les hyphes ou sur des conidiophores simples ou agrégés (Moniliales). (*Penicillium, Aspergillus, Cladosporium*)
- COELOMYCETES: Conidies produites dans des pycnides (Sphaeropsidales) ou dans des acervules (Mélanconiales).

Annexe 2

Lexique mycologique

- **Conidiophore**: hyphe simple ou branchée portant l'organe sporifère.
- **Hyphe**: filament de mycélium
- **Métule**: cellule intermédiaire portant les phialides, chez les *Aspergillus* et les *Penicillium*.
- **Morge**: mince revêtement visqueux, essentiellement constitué de levures et de bactéries, se développant en début d'affinage sur les fromages à pâte pressée cuite comme le Comté.
- **Myxospore**: spore de Myxomycète; terme utilisé, par extension, pour désigner des spores à paroi hydrophile, dispersées par l'eau.
- **Pénicille**: tête sporifère, en forme de "pinceau", formée par de branches, métules et phialides.
- **Phialide**: cellule terminale formant les conidies, en forme de bouteille.
- **Rhizoïde**: fausse racine naissant à partir des stolons (ex: *Rhizopus*).
- **Sporange**: organe produisant des spores asexuées internes (ex: mucorales...).
- **Sporangiophore**: hyphe particulier portant un sporange.
- **Stolon**: filament aérien rejoignant deux implantations dans le substrat (ex: *Rhizopus*).
- **Thalle**: appareil végétatif des Végétaux inférieurs, où on ne peut distinguer ni racine, ni tige, ni feuille.
- **Xérospore**: spore à paroi hydrophobe, dont la dispersion est surtout effectuée par les courants d'air.
- **Zygospor** ou **zygote**: spore issue de la reproduction sexuée chez les mucorales.

Bibliographie

1. — BARRIOS M.J., MEDINA L.M., CORDOBA M.G. et JORDANO R. : Aflatoxin- producing strains of *Aspergillus flavus* isolates from cheese. *J. Food Protect.*, 1997, **60**, 192-194.
2. — BERGERE J.L. et LENOIR J. : Les accidents de fromagerie et les défauts des fromages. In ECK A., GILLIS J.C., Le fromage. 3^{ème} édition. Lavoisier TEC&DOC ed. Paris. 1997, 509-541.
3. — BOTTON B. : Méthodes de prévention et de lutte. In BOTTON B. et coll. Moisissures utiles et nuisibles. Importance industrielle. 2^{ème} ed. Masson. Paris. 1990, 227-291.
4. — BOUDRA A. : Protocole d'évaluation de la contamination mycotoxique. Application à la noix et la figue. Thèse univ. Toulouse. 1994.
5. — BRETON A. : Les moisissures des biodétériorations. In BOTTON B. et coll. Moisissures utiles et nuisibles. Importance industrielle. 2^{ème} édition. Masson ed. Paris. 1990, 210-220.
6. — BULLERMAN L.B. et OLIVIGNI F.J. : Mycotoxin producing potential of molds isolated from Cheddar cheese. *J. Food Sci.*, 1974, **39**, 1166-1168.
7. — DESFLEURS M. : Contamination de Pont-l'Evêque par un *Penicillium* provenant des boîtes et cageots servant à leur emballage. *Lait.*, 1975, **55**, 396-400.
8. — DESFLEURS M. : Accidents de fabrication et défauts des fromages à pâte molle. Brochure Lactolabo. 1980.
9. — DESFLEURS M., DESMAZEAUD M., HARDY J. et SOUVERAIN R. : Les auxiliaires technologiques. In LUQUET F.M., Lait et produits laitiers. Vol 2. Lavoisier TEC&DOC. ed. Paris. 1985, 569-630.
10. — DEVOYOD J.J. : Les accidents dus aux *Mucor* en fromagerie. *Microbiol. Alim. Nutr.*, 1988, **6**, 25-29.
11. — Directive 92/46/CEE : Règles sanitaires pour la production et la mise sur le marché du lait cru, du lait traité thermiquement et des produits à base de lait. *JOCE*, L268/1, 14 Septembre 1992.
12. — Directive 93/43/CEE : Hygiène des denrées alimentaires. *JOCE*, L175, 19 Juillet 1993.
13. — FORGE M., GUIRAUD J.P. et GALZY P. : Etude d'un accident de fabrication du fromage de Roquefort. *Lait.*, 1977, **57**, 24-36.
14. — GUEGUEN M. : Moisissures responsables de défauts d'affinage en fromagerie (à l'exclusion des *Mucoraceae*). *Microbiol. Alim. Nutr.*, 1988, **6**, 31-35.
15. — GUEGUEN M., DESFLEURS M. et LEMARINIER S. : *Penicillium roqueforti* Thom responsable d'un nouvel accident en fromageries de pâtes molles. *Lait.*, 1978, **58**, 327-335.
16. — JACQUET J. et DESFLEURS M. : *Cladosporium herbarum* Link, agents d'accidents tardifs de «bleu» sur les fromages à pâte molle et spécialement le Camembert. *Lait.*, 1966, **46**, 485-497.
17. — JACQUET J. et DESFLEURS M. : *Scopulariopsis brevicaulis* Bainier, ou mieux *Scopulariopsis fusca* Zack, agent des taches superficielles brun-violettes des fromages à pâte molle. *Lait.*, 1966, **46**, 241-253.
18. — JACQUET J. et DESFLEURS M. : Etude d'un accident de «bleu» en fromagerie de camembert. Enseignements pratiques. *Lait.*, 1966, **46**, 599-610.
19. — JACQUET J. et TEHERANI M. : Présence exceptionnelle de l'aflatoxine dans certains produits d'origine animale. Rôle possible du poivre. *Bull. Acad. Vet. Fr.*, 1974, **47**, 313-315.
20. — LAFONT P., SIRIWARDANA M.G. et LAFONT J. : Contamination de fromages par des métabolites fongiques. *Med. Nutr.*, 1979, **15**, 257-262.
21. — LAMBERET G. et LENOIR J. : Aptitude de l'espèce *Penicillium caseicolum* à la production d'enzymes lipolytiques. *Lait.*, 1972, **52**, 175-192.
22. — LAMBERET G. et MENASSA A. : Détermination et niveau des activités lipolytiques dans les fromages à pâte persillée. *Lait.*, 1983, **63**, 333-344.
23. — LE BARS J. et LE BARS P. : Contamination fongique et mycotoxique de plantes pour infusions et de condiments. *Bull. Soc. Fr. Mycol. Méd.*, 1988, **17**, 379-384.
24. — LE MENS P. : Le «poil de chat» sur les fromages de chèvre fermiers. I.T.O.V.I.C. Section caprine. Supplément moutons et chèvres. 59-63.
25. — LOPEZ-DIAZ T.M., ROMAN-BLANCO C., GARCIA-ARIAS M.T., GARCIA-FERNANDEZ M.C. et GARCIA-LOPEZ M.L. : Mycotoxins in tow Spanish cheese varieties. *Int. J. Food Microbiol.*, 1996, **30**, 391-395.

26. — MASSON A. et MEIER P. : La contamination fongique des épices, des champignons séchés ou congelés et des figues de Turquie. *Microbiol. Alim. Nutrition.*, 1988, **6**, 403-406.
27. — MOLIMARD P., LESSCHAEVE I., BOUVIER I., VASSAL L., SCHLICH P., ISSANCHOU S. et SPINNLER H.E. : Amertume et fractions azotées de fromages à pâte molle de type camembert : Rôle de l'association de *Penicillium camemberti* avec *Geotrichum candidum*. *Lait.*, 1994, **74**, 361-374.
28. — MOREAU C. : Quelques problèmes posés par les moisissures dans les industries laitières. *Tech. Lait.*, 1983, **975**, 37-43.
29. — MOREAU C. et MOREAU M. : La contamination des épices, ses conséquences dans les industries alimentaires. *Ind. Alim. et Agric.*, 1978, **5**, 497-502.
30. — MOURGUES R., BERGERE J.L. et VASSAL L. : Possibilités d'améliorer les qualités organoleptiques des fromages de camembert grâce à l'utilisation de *Geotrichum candidum*. *Tech. Lait.*, 1983, **978**, 11-15.
31. — NORTHOLT M.D., VAN EGMOND H.P., SOENTORO P. et DEIJLL E. : Fungal growth and the presence of sterigmatocystin in hard cheese. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 1980, **63**, 115-119.
32. — RAPER K.B. et THOM C. : A manual of the *Penicillia*. Hafner Publishing Compagny. New York and London. 1968.
33. — TANTAOUI-ELARAKI A. et KHABBAZI N. : Contamination éventuelle des fromages par les mycotoxines : une revue. *Lait.*, 1984, **64**, 46-71.
34. — VASSAL L. et GRIPON J.C. : L'amertume des fromages à pâte molle de type Camembert : Rôle de la présure et de *Penicillium caseicolum*, moyen de la contrôler. *Lait.*, 1984, **64**, 397-417.