



La flore de surface joue un rôle primordial dans l'affinage des fromages. Certes, les bactéries lactiques présentes au cœur de la pâte (ex : pâtes pressées) contribuent à l'affinage ainsi que certaines entérobactéries (ex : Hafnia) mais ne feront pas l'objet de cet article.

Outre l'aspect conféré au produit, les différents microorganismes (Levures, Moisissures et Bactéries) contribuent au développement de la texture et de la flaveur propre à chaque fromage et sont les garants de leur singularité. L'aptitude de ces flores à transformer la matrice fromagère est liée à leur équipement enzymatique et notamment à l'action de leurs lipases et protéases sur la matière grasse et les protéines. La sélection des flores de surface est choisie et orientée selon le schéma technologique (à maîtriser). La bonne gestion du développement de la flore de surface (afin d'éviter les défauts) passe notamment par une HFD au démoulage optimale.

La flore de surface est soit présente naturellement dans le lait cru soit apportée par des cocktails commerciaux. Ces souches peuvent être introduites par pulvérisation ou par morgeage en hâloirs, ou directement dans le lait (ce qui peut être très profitable car les pertes dans le lactosérum ne sont pas très importantes et le microorganisme peut s'adapter très tôt au biotope).

LEVURES

Les levures sont 100 fois plus nombreuses en surface que dans la pâte (où elles participent également beaucoup à l'affinage) et représentent 10^8 UFC/g après deux semaines d'affinage. Elles se développent sur une large gamme de pH (3 à 10). Certaines comme *Debaryomyces hansenii* sont halotolérantes. En consommant l'acide lactique produit par les bactéries lactiques, elles favorisent la remontée du pH en surface du fromage (surtout D. h) et permettent l'implantation des bactéries corynéformes et microcoques (acidosensibles) dans le cas des croûtes lavées, et de *P. camemberti* ou *P. candidum* pour les fromages à croûte fleurie. Certaines associations de levures (ex : produit "trio" de Chr. Hansen) ont un pouvoir inhibiteur contre les moisissures indésirables telles que *Mucor* (poil de chat) ou le bleu. Par ailleurs, des levures comme *Kluyveromyces*, *Candida* ou *Debaryomyces* peuvent favoriser l'implantation de *Geotrichum candidum*. Les levures développent, par la formation de nombreux alcools et esters, des notes fruitées et florales.

Dans les fromages au lait de chèvre (Nahabieh et Schmidt, 1990), les levures les plus représentées sont les *Candida* (à 60 %), avec une présence de *C. lipolytica* (forme imparfaite de *Y. lipolytica*) et *C. intermedia* (peu présentes dans les fromages au lait de vache), *Yarrowia lipolytica*, *Debaryomyces hansenii*, *Kluyveromyces marxianus ssp* et *Saccharomyces cerevisiae*.

MOISSISSURES

Geotrichum candidum

Considérée à la fois comme levure et comme moisissure, Gc peut conférer au fromage un aspect blanc et duveteux (sous sa forme mycélienne), un aspect crème (forme levuriforme) ou intermédiaire. Il se développe juste après les levures et permet également une désacidification de la pâte. Gc est assez sensible au sel (1,5 %). Sa lipase est plus spécifique de l'acide oléique et de l'acide 4 éthyl octanoïque (responsable de la flaveur chèvre), que celle de *Penicillium candidum* (étude ITPLC, Gaborit et al., 2001). Gc peut produire, à partir des acides aminés (comme B. linens), des composés soufrés (méthanethiol et diméthylsulfide) et donc donner des saveurs plus typées "munster", "ail", ... et "fromage" que d'autres levures, saveurs d'autant plus marquées que l'association de Gc est réalisée avec des levures et non des bactéries. Par ailleurs, son activité aminopeptidase, dix fois plus forte que celle de P.c, per-

met de diminuer l'amertume par dégradation des peptides amers produits par P.c. En revanche, si la croissance de G.c est mal maîtrisée (en excès), la surface des fromages devient grasseuse (peau de crapaud). Gc est principalement rencontré sur : Chabichou du Poitou, Pouligny St Pierre, Crottin de Chavignol, Rocamadour.

Penicillium

P. camemberti ou *P. candidum* confère au fromage un aspect blanc duveteux. Très protéolytique (exopeptidasique), il peut être responsable d'amertume. Il est également très lipolytique. Sa lipase libère de façon privilégiée des acides gras longs (C13 à C18) et courts (C4 à C6) développant des saveurs piquantes et rances lipolysées, conduisant à des défauts de saveurs, à des goûts de champignon trop forts et de celluloid (quantité importante d'octène 1-3 ol ou de styrène produits). C'est pourquoi, il est donc presque toujours associé à d'autres genres tels que G.c ou à des bactéries. Mais on note tout de même une flaveur champignon très marquée pour une association P.c + D. h, contrairement à une association G.c + D. h qui, elle, induit des fromages de chèvre lactiques typés.

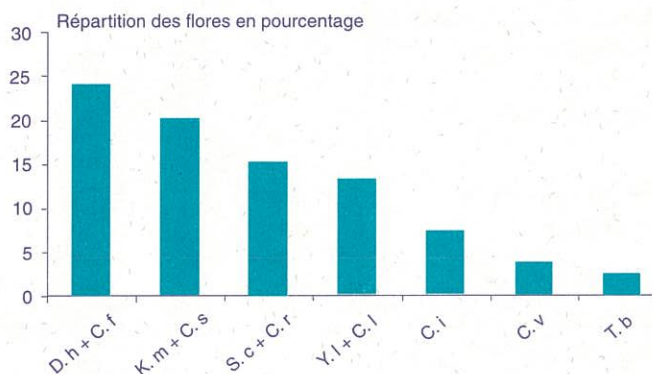


Figure 1 : Principales levures rencontrées sur : Chabichou du Poitou (lait cru), Ste Maure (cru ou pasteurisé), Chèvre boîte (cru ou pasteurisé), Crottin de Chavignol (lait cru), Pouligny st Pierre (lait cru) et Chevrotin des Aravis (lait cru). Répartition des flores en pourcentage.

D.b. : *Debaryomyces hansenii*, C. f. : *Candida famata* (forme imparfaite de D.b.)

K.m. : *Kluyveromyces marxianus*, C.s. : *Candida sphaerica* (forme imparfaite de K.m.)

S.c. : *Saccharomyces cerevisiae*, C.r. : *Candida robusta* (forme imparfaite de S.c.)

Y.l. : *Yarrowia lipolytica*, C.l. : *Candida lipolytica* (forme imparfaite de Y.l.)

C. i. : *Candida intermedia* ; C.v. : *Candida valida* ; T.b. : *Trichosporon beigelii*

P. c est principalement rencontré (en association avec G.c) sur : Chèvre Boite, Bûchette industrielle et plus sporadiquement Ste Maure et *P roqueforti* pour quelques fromages de chèvre à pâte persillée.

BACTÉRIES DE SURFACE

Ce sont principalement les Microcoques (Micrococcus et Staphylococcus) et les Coryneformes (Arthrobacter, Corynebacterium et Brevibacterium linens). Ces genres sont souvent méso-philés, halophiles ou halotolérantes (pouvant se développer à des concentrations en sels de 10 à 15%) mais acido-sensibles (pH optimal de croissance de 6 à 8,5). Microcoques et Corynebacteries sont assez protéolytiques, conduisant à la formation de composés soufrés. De façon plus précise, les microcoques possèdent des endopeptidases (libération de peptides) endo ou exocellulaires et des exopeptidases (libération d'acides aminés) endocellulaires. Concernant B. linens (encore appelé ferment du rouge car pigmenté en orange), son fort potentiel aromatique est parfois utilisé sur d'autres fromages que des pâtes lavées, par exemple le camembert et dans ce cas, une souche dépigmentée ou non peut être utilisée.

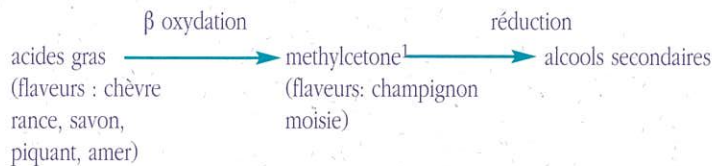
PRODUCTION DES MOLÉCULES AROMATIQUES

Notons que les molécules les plus aromatiques sont les plus volatiles et donc de faible poids moléculaire. L'analyse des composés volatiles est souvent réalisée par analyse sensorielle associée à la Chromatographie en Phase Gazeuse.

Transformation de la matière grasse

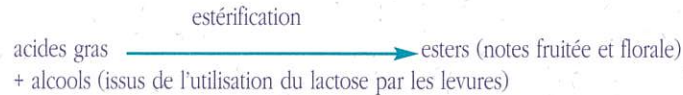
Après hydrolyse des triglycérides (par la LipoProtéine Lipase du lait et lipases microbiennes), les acides gras libérés sont transformés différemment selon les micro organismes :

* Chez les moisissures :



¹ ex de méthylcétone en lait de chèvre ou brebis : 2 heptanone (odeur de roquefort) et 2 nonanone (odeur fruitée, moisie) provenant des acides gras C8 et C10.

* Chez les levures, microcoques :

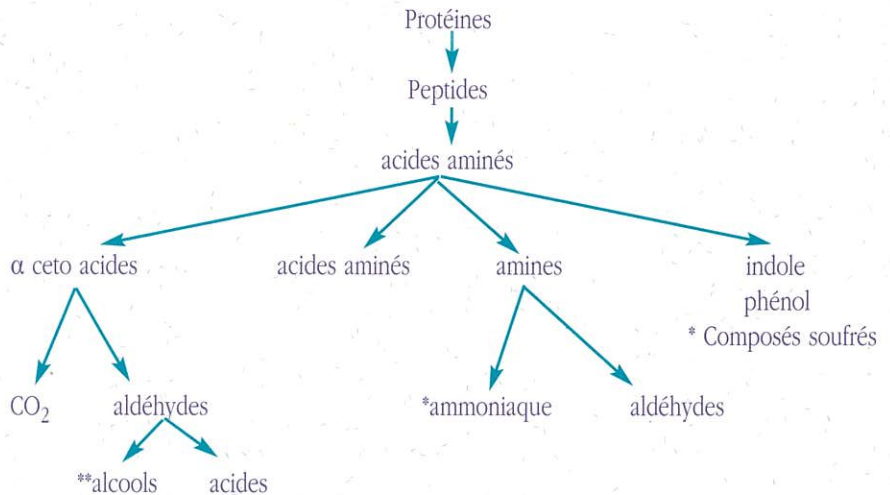


ex : éthanol + acide acétique forme l'acétate d'éthyle à odeur de pomme de reinette.

TRANSFORMATION DE LA MATIÈRE PROTÉIQUE

Les protéines et notamment les caséines α1 et β sont rapidement attaquées par les protéases exocellulaires des *Penicillium* et *Geotrichum* puis par les protéases endocellulaires des levures et de *Geotrichum* (cette dégradation conduit également à la modification de la texture du produit : assouplissement de la pâte). Les peptides amers ainsi générés par *Penicillium* peuvent être dégradés en acides aminés par les levures et G. c (d'où la disparition des défauts d'amertume).

La formation de composés d'arôme à partir d'acides aminés (ex : composés soufrés) constitue une part importante du profil sensoriel des fromages.



Exemple :

- *Composés soufrés : disulfure de methyl, dimethyl, methylethyl : ail, chou
- 3 methylthiopropanol : pomme de terre
- methylthioacetate : chou-fleur cuit
- **Alcools : 2 phenyléthanol : rose
- 2 methyl propanol, 3methylbutanol : alcool de fruit

Le potentiel enzymatique et donc aromatique et texturant de chaque souche lui est propre mais peut varier selon le biotope où levures, bactéries et *Geotrichum* se côtoient le plus souvent. C'est ce qui fait toute la typicité des fromages au lait cru. C'est aussi ce qui permet de fabriquer des fromages à façon, en choisissant subtilement les associations de souches à réaliser, et ce, avec l'aide des producteurs de ferments.

Pour en savoir plus

Gaborit *et al.* (2001) Impact of ripening strains on the typical flavour of goat cheeses. *Int Dairy J*, 11 (4-7), 315-325.
 Les groupes microbiens d'intérêt laitier (1992) CEPIL, Hermier, Lenoir et Weber (Eds), p127-255
 Martin *et al.* (1999) Flavor generation in cheese curd by coculturing with selected yeast, mol and bacteria. *J Dairy Sci*, 82, 1072-1080.
 Mietton *et al.* (1994) Transformation du lait au fromage. In : Bactéries lactiques, Roissard et Luquet (Eds), Vol 2, chap IV 3, p 97.
 Molimard *et al.* (1997) Les lipides et la flaveur des produits laitiers, OCL, Vol4, Juillet/Aout, 301-311.
 Nahabieh F, Schmidt JL (1990) Contribution à l'étude de la flore levure de quelques grands types de fromages de chèvre. *Lait*, 70, 325-343.

