

LE LAIT

REVUE GÉNÉRALE DES QUESTIONS LAITIÈRES

SOMMAIRE

Mémoires originaux :		Analyse des Brevets.....	530
ORLA-JENSEN. — La maturation des fromages.....	493	Bulletin Bibliographique...	532
DE BORSSAT. — Les prélèvements du lait ; la formalité substan- tielle du mélange.....	502	Brevets.....	535
Ch. PORCHER. — A propos de l'article précédent.....	505	Documents et Informations	536
Bibliographie analytique :		Ch. PORCHER. — Comment lire les travaux sur le lait d'origine anglo-saxonne.....	536
1° Les Livres.....	508	Tables pour 1921.....	541
2° Journaux, Revues, Sociétés savantes.....	511		

MÉMOIRES ORIGINAUX ⁽¹⁾

LA MATURATION DES FROMAGES,

par le Pr ORLA-JENSEN,

Professeur à l'École Polytechnique de Copenhague.

Parmi les divers processus de fermentation qui ont fait l'objet de recherches scientifiques approfondies, celui de maturation des fromages est sans doute l'un des plus complexes, parce que les trois principaux groupes de principes nutritifs : substances albuminoïdes, matières grasses et hydrates de carbones, se trouvent représentés si abondamment dans la masse fraîche du fromage, que les transformations qu'ils subissent s'influencent réciproquement. Ajoutez à cela certaines difficultés d'ordre purement pratique ; d'abord, pour plusieurs sortes de fromages, le processus de maturation marche silencieusement, qu'il peut s'écouler une année entière avant qu'on obtienne l'arôme parfait et, partant, le résultat expérimental définitif ; et, en second

(1) Reproduction interdite sans indication de source.

lieu, il y a encore ceci, que le lait stérilisé n'est pas propre à la fabrication de fromage, ce qui est bien regrettable lorsqu'on désire savoir comment telle espèce bactérienne cultivée à l'état de pureté agit dans une espèce de fromage donnée.

Les constituants les plus caractéristiques de la masse fraîche du fromage sont les substances albuminoïdes. Ainsi c'est la transformation de celles-ci qui joue le premier rôle dans la maturation des fromages. Plus grande sera la proportion d'albuminoïdes qui deviendra soluble, plus le fromage paraîtra gras, et plus profonde sera leur dégradation, plus son goût sera relevé. Dans l'intérieur des fromages durs, la dégradation n'avance, en général, que jusqu'au terme constitué par les acides dits aminés, qui sont, pour ainsi dire, les pierres de construction des substances albuminoïdes ; c'est seulement dans les croûtes et dans certains fromages mous que quelques acides-aminés subissent une dégradation plus profonde encore, qui a pour conséquence la formation d'assez grandes quantités d'ammoniaque et d'autres produits à odeur forte. Or, comme la décomposition des substances albuminoïdes jusqu'au terme acides-aminés est généralement qualifiée de processus de digestion, tandis que la dégradation ultérieure des acides-aminés, laquelle fait perdre des valeurs nutritives ou peut même aboutir à la formation de matières nuisibles, s'appelle un processus de putréfaction, il ne peut point y avoir de doute que les meilleurs fromages et les plus salubres ne soient ceux dont la maturation doit être considérée purement et simplement comme un processus de digestion. Même les croûtes doivent être traitées de telle manière qu'elles ne se putréfient pas, et le remède le plus efficace contre cela est le paraffinage combiné avec un emmagasinage pas trop humide.

En évitant les processus de putréfaction dans le fromage, on a l'avantage d'éviter en même temps une décomposition appréciable de la graisse et, conséquemment, une perte de matière alimentaire. Il ne faut pourtant pas perdre de vue ce fait, que les produits de décomposition de la graisse alliés à une faible quantité de produits de putréfaction ont l'effet de donner au fromage un certain goût piquant fort apprécié par bien des personnes ; dans les fromages envahis par des moisissures tels que, par exemple, celui de Roquefort, les produits de décomposition de la graisse constituent même une partie essentielle de l'arôme.

Contrairement à ce qui est le cas pour la teneur du fromage en matière albuminoïdes et grasses, son hydrate de carbone, le lactose, se transforme bien vite de telle manière qu'il n'aura plus de valeur nutritive. Dans l'espace de quelques jours, parfois même du jour au lendemain, il se trouve converti en acide lactique, et les lactates qui

prendront ainsi naissance peuvent, comme nous le verrons plus loin, subir encore des transformations diverses. Il n'en est pas moins vrai que le sucre de lait est de la plus haute importance pour la marche de la maturation ; car plus le fromage frais contient de ce sucre, plus son acidité sera élevée et, d'autre part, c'est justement le degré d'acidité qui détermine si la maturation pourra s'opérer uniformément dans toute la masse, comme c'est le cas pour les fromages durs, ou seulement progresser de l'extérieur vers l'intérieur, comme dans les fromages mous. Même dans le groupe des fromages durs, cependant, la proportion d'acide est un facteur des plus importants, tout particulièrement sous le rapport de la consistance des fromages, attendu que ceux-ci seront soumis au salage et que, en dissolvant une partie plus grande ou plus petite de la chaux combinée à la caséine, l'acide aura l'effet de rendre cette dernière plus ou moins soluble dans la saumure. C'est l'acide, conjointement avec le sel, qui fait fusionner les grumeaux de fromage dans la masse fraîche et qui rendent celle-ci translucide et élastique. Ajoutons encore que, en fait, c'est l'acide qui protège le fromage contre la putréfaction, et vous comprendrez que l'élimination d'une proportion plus ou moins forte de sucre de lait ou, ce qui revient au même, d'une plus ou moins grande quantité de petit lait est d'une importance prépondérante pour le caractère et la consistance du fromage. Aussi, dans la fabrication des fromages, on vise toujours avant toute chose — par chauffage aussi bien que par des moyens mécaniques tels que la division, le remuage, la pression — à écarter une partie du petit lait, plus ou moins selon la sorte de fromage qu'on se propose de fabriquer.

Nous allons maintenant aborder brièvement l'étude des divers facteurs qui causent la maturation des fromages. A ce sujet, il conviendra d'examiner séparément chacun des trois principaux groupes de fromage, savoir les fromages de présure durs et mous et, d'autre part, les fromages de lait caillé par l'acide. Vu que les sortes de fromage les plus importantes appartiennent à la première classe, il est préférable de commencer par celle-ci.

Celui qui s'occupa le premier d'une façon approfondie de la maturation du fromage, fut l'illustre DUCLAUX. Il en isola quelques bactéries en forme de bâtonnets, qu'il appela *Tyrothrix*, c'est-à-dire filaments de fromage, et qui,ensemencés dans du lait, dissolvent ses matières albuminoïdes et lui communiquaient une odeur rappelant celle du vieux fromage. A y regarder d'une façon superficielle, ces bactéries étaient donc susceptibles de provoquer des transformations chimiques semblables à celles qui ont lieu dans le fromage et, dès lors, le problème de maturation du fromage semblait résolu. Aussi, la théorie des *Tyrothrix*, qui apparaissait en 1878, fut-elle généralement

approuvée, et ce n'est qu'un peu après, en 1890, qu'il y fut opposé des objections graves, de la part du célèbre bactériologiste suisse de FREUDENREICH, qui dans les fromages trouvait presque exclusivement des bactéries lactiques. De fait, les différentes espèces de *Tyrothrix* — bien connues dans la bactériologie moderne sous le nom de bacilles du foin et des pommes de terre — se rencontrent assez rarement, parce que, inoculées même en forte quantité au fromage, elles périssent bientôt. C'est seulement quand, à l'aide d'une pasteurisation préalable du lait, on aura détruit les bactéries lactiques de façon à ce que la masse du fromage ne devienne pas acide tout de suite, que les *Tyrothrix* seront capables de se développer ; mais en ce cas ces bacilles produiront des taches putrides dans le fromage. Par conséquent, ils devraient plutôt être regardés comme des germes nocifs (1).

Mais comment alors s'expliquer le fait de la maturation du fromage ?

Sur ces entrefaites, il advint quelques années plus tard, en 1897, que de FREUDENREICH fit la découverte que les bactéries lactiques sont douées du pouvoir non seulement d'acidifier le lait, mais encore de décomposer les matières albuminoïdes qui en font partie, — à la condition bien entendu que l'acide lactique formé soit d'abord neutralisé, et c'est précisément ce qu'il est dans les fromages durs, où la quantité d'acide engendré n'est jamais trop élevée pour se combiner presque en totalité avec la chaux contenue dans la caséine et les phosphates. Si maintenant on prend en considération ce fait avéré, que les seules bactéries que le fromage renferme en quantité considérable sont justement celles d'acide lactique, il ne peut plus y avoir de doute qu'elles ne jouent un rôle très important dans la maturation des fromages durs.

On se demande naturellement ensuite si toutes les espèces de bactéries lactiques sont également bien appropriées à ce but. Or, à ce sujet, les recherches entreprises par de FREUDENREICH, en collaboration avec l'auteur du présent mémoire, nous permirent bientôt de constater que c'est tout particulièrement certaines bactéries lactiques en forme de bâtonnets qui ont le pouvoir de démolir la caséine et de produire les acides-aminés qui sont caractéristiques au fromage. Il y a aussi certains Streptocoques qui, ainsi que le savant suédois BARTHEL l'a constaté le premier (2), sont capables de décomposer la caséine, bien que d'une façon moins profonde.

(1) Die Bedeutung der Milchsäurefermente für die Bildung von Eisweiss zersetzungsprodukten in Emmentalerkäsen (*Centralblatt f. Bakteriologie*, II, Abt., 1900, VI).

(2) Meddelande Nr 97 fran Centralanstalten för försöksväsendet på jordbruksområdet, Stockholm, 1914.

Dans ces dix dernières années, j'ai fait une étude assez approfondie des bactéries lactiques de la laiterie, en dirigeant mon attention principalement à leur pouvoir d'attaquer la caséine (1). La bactérie typique de la maturation du fromage s'est trouvée être celle que j'ai dénommée *Streptobacterium casei* ; c'est elle qui probablement joue le rôle principal dans la plupart des fromages durs. Les espèces bactériennes dites thermobactéries, qui exigent des températures élevées pour leur développement — telles, par exemple, que le *Thermobacterium helveticum*, — ne prédominent que dans les fromages qui au cours de leur fabrication sont soumis à un fort chauffage postérieur, ce qui est le cas pour l'Emmental, par exemple. Parmi les streptocoques, la bactérie d'acidification de la crème, *Streptococcus cremoris*, paraît être la plus favorable.

Il est un fait qui semblerait aller à l'encontre de la manière de voir d'après laquelle les bactéries lactiques jouent le rôle prépondérant dans la maturation des fromages durs : c'est que ces bactéries ne peuvent croître sans sucre, et nous avons déjà vu que le sucre de lait contenu dans le fromage subit une fermentation complète en quelques jours, alors que le processus de maturation dure des mois entiers (2). D'accord avec ces faits, une numération des bactéries lactiques que renferme le fromage fait constater que c'est au bout de deux à trois jours qu'elles sont le plus nombreuses, et que dans la suite leur nombre décroît lentement de mois en mois. Le fromage frais peut en renfermer plus de cent millions par gramme, tandis que dans le fromage vieux il n'y en a qu'un petit nombre de millions. Il faut cependant remarquer que, comme je l'ai démontré, les bactéries lactiques exercent leur action par le moyen d'un enzyme de digestion (endoéprepsine) qui se trouve à l'intérieur des cellules. A mesure que les cellules meurent, le contenu cellulaire sera digéré par cet enzyme, et le processus de digestion ira en s'étendant jusqu'à gagner le milieu environnant. Ainsi donc, en réalité, l'agent qui détermine la maturation du fromage, ce ne sont pas les bactéries vivantes, mais bien les enzymes que contiennent les bactéries mortes. Dès lors, on comprend parfaitement que ce processus avance d'autant plus rapidement que les cellules mortes sont plus nombreuses.

A côté des enzymes propres aux bactéries lactiques, il en existe plusieurs autres qui exercent une influence sur la maturation des fromages. C'est ainsi qu'en 1897 deux savants américains : BABCOCK et RUSSELL, démontrèrent que le lait lui-même contient un enzyme, la galactase, qui tend à dissoudre ses matières albuminoïdes et

(1) The Lactic Acid Bacteria. Copenhagen, 1919, Andr. Fred. Host et Søn.

(2) Studien über die Lochbildung in den Emmentalerkäsen *Centralblatt f. Bakteriologie*, II, Abt., 1899, IV).

qui, conséquemment, doit sans doute entrer pour quelque chose dans la maturation du fromage, si toutefois on n'a pas employé pour le fromage du lait pasteurisé. De mon côté, j'ai établi que la présure, après avoir caillé la caséine, dissout celle-ci peu à peu (1), et, par conséquent, pour ce qui concerne les fromages de présure, celle-ci doit être considérée comme l'un des facteurs de maturation essentiels. Dans un travail que j'ai exécuté sur les enzymes du fromage (2), j'ai pu étudier séparément chaque facteur de maturation. Dans les fromages durs, les enzymes des bactéries lactiques sont sans conteste le plus important des divers agents qui entrent en jeu dans ce processus.

Parmi les diverses sortes de fromages durs, celle qui a fait l'objet des recherches les plus approfondies, est sans contredit l'Emmental. Son goût particulier, plutôt douceâtre, est dû, comme nous l'avons déjà indiqué plus haut, au *Thermobacterium helveticum*. Si on s'est appliqué depuis bien longtemps à élever par la voie empirique cette bactérie thermophile dans le fromage d'Emmental, cela tient à un concours de circonstances très diverses. D'abord, il faut remarquer qu'en Suisse, pour préparer la présure, on extrait avec de la recuite les caillettes de veaux à une température d'environ 40° centigrades. Comme le *Thermobacterium helveticum* se trouve en général dans les caillettes, on obtient de la sorte non seulement de la présure, mais en même temps une culture de la bactérie nécessaire pour la maturation du fromage (3). Or, comme la masse du fromage est soumise à un chauffage très fort, on repêche toute la masse à la fois du petit lait chaud et, comme les fromages sont d'assez grande dimension, ils auront à la presse une température assez élevée pour que les bactéries thermophiles puissent y croître vivement.

Comme un phénomène qui présente une grande importance pour le fromage d'Emmental, il nous reste à parler de la formation des trous. En fait, c'est presque exclusivement d'après la dimension, l'aspect et la répartition des trous que les marchands ont coutume d'apprécier la qualité de cette sorte de fromage. On sait depuis longtemps que les trous sont des bulles de gaz qui n'ont pu s'échapper de la masse compacte du fromage. Selon les premiers bactériologistes qui s'occupèrent de ce problème, ces bulles se formaient à la suite de la fermentation du sucre de lait. Je démontrai alors que ce sucre disparaissait dans l'Emmental en vingt-quatre heures, alors que les

(1) Einige Bemerkungen über Lab und Labbereitung (*Landwirtschaftliches Jahrbuch der Schweiz*, 1907).

(2) Studien über die Enzyme der Käse (*Centralblatt f. Bakteriologie*, II, Abt., 1900, VI).

(3) Über den Einfluss des Natrins auf die Reifung des Emmentalerkäses (*Centralblatt f. Bakteriologie*, II, Abt., 1899, III).

trous ne se forment normalement que lorsque les fromages, âgés de quatre à six semaines, séjournent dans les locaux chauffés spéciaux ; dès lors il était clair que les trous ne proviennent pas directement du sucre du lait. Plus tard, je pus démontrer que l'apparition des trous était accompagnée de la formation d'importantes quantités d'acide propionique et d'acide acétique (1), d'où je conclus que les trous résultent de la fermentation des lactates existant dans le fromage, sels qui passent ainsi à l'état d'acides propionique, acétique et carbonique. Je tirai encore cette conclusion, que ce processus fermentaire devait être dû à des bactéries jusqu'alors inconnues ; aussi, dans le courant de l'année suivante, nous parvînmes, de FREUDENREICH et moi (2), à isoler les bactéries propioniques, groupe d'espèces remarquables à bien des égards et qui, semées dans un liquide nutritif contenant du lactate de chaux, de trois molécules d'acide lactique forment deux molécules d'acide propionique, une molécule d'acide acétique et une molécule d'acide carbonique. Contrairement aux bactéries lactiques qui se développent au cours de la fabrication même du fromage et qui, par suite, se trouvent réparties uniformément dans la masse, les bactéries propioniques ne prennent naissance que beaucoup plus tard et n'y forment que des colonies éparses, dont cependant chacune, par suite de l'acide carbonique qu'elle développe, donnera lieu à un trou. Plus tard, on a signalé l'existence de bactéries propioniques dans le fumier de vaches, et c'est évidemment de là qu'elles viennent dans le lait. Dans d'autres fromages durs, la formation normale de trous est due également, en majeure partie, à une fermentation propionique.

La connaissance qu'on a maintenant acquise au sujet de la maturation du fromage d'Emmental, est naturellement utilisée dans la pratique. A cet effet, on ajoute simplement au lait qui a servi à la fabrication du fromage, des cultures de *Thermobacterium helveticum*, ce qui rend superflue la préparation de présure à la manière ancienne. Lorsque la formation de trous est trop restreinte, on peut surajouter au lait de fromage une quantité de bactéries propioniques, procédé bien plus recommandable que celui qui consiste à mettre les fromages dans des locaux trop chauds, ce qui a été jusqu'ici le seul moyen dont on ait disposé pour mettre en train la formation de trous.

Pour ce qui regarde les fromages mous, il est à remarquer que la masse est au début trop acide pour que les enzymes des bactéries

(1) Etudes sur les acides gras volatils du fromage et contributions à la biologie des ferments du fromage (*Annuaire agricole de la Suisse*, 1904).

(2) Über die im Emmentalerkäse stattfindende Propionsäuregärung (*Zentralblatt f. Bakteriologie*, II, Abt., 1907, XVII).

lactiques puissent y agir. Par contre, la présure y trouve des conditions particulièrement favorables pour pouvoir exercer son action dissolvante, qui est favorisé par la réaction acide. Ce n'est pourtant, comme DUCLAUX l'a déjà prouvé, que lorsque l'acide lactique aura été neutralisé ou brûlée à la surface du fromage, que les transformations particulières aux fromages mous entrent en jeu. Comme ces transformations se propagent de l'extérieur vers l'intérieur, on donne naturellement à ces sortes de fromage une surface relativement grande. Les agents actifs dans le sens dont il s'agit, sont tout particulièrement les bactéries formant de l'ammoniaque, précédées ou non d'une végétation de moisissure, et l'on distingue par conséquent entre les fromages *frottés* et ceux à *moisissure*. On favorise le développement des bactéries en laissant les fromages à l'humidité serrés les uns contre les autres, et en les frottant tous les jours ; pour accélérer la croissance de la moisissure, on laisse les fromages relativement à sec avec un libre accès de l'air, et en y touchant le moins possible.

Comme un exemple typique des fromages sans moisissure, nous pouvons citer celui de Limbourg. D'après mes recherches (voir note 1, p. 499) la formation d'ammoniaque y est due à une symbiose entre une espèce bactérienne : *Bacterium limburgensis*, et certains coques dissolvant la caséine. Aucune de ces bactéries ne produit isolément de quantités considérables d'ammoniaque ; mais lorsqu'elles agissent ensemble, elles engendrent des quantités telles que non seulement l'acide lactique, mais encore la caséine elle-même seront neutralisés par toute la masse, avec formation de caséinate d'ammonium facilement soluble (1). En même temps il se forme plusieurs produits de putréfaction, et pour cette raison j'estime qu'il n'est pas recommandable de s'appliquer particulièrement à la fabrication du fromage de Limbourg.

Les fromages à moisissure sont des produits bien plus fins, et parmi eux celui le Camembert mérite un intérêt tout spécial. Il doit son arôme principalement à une moisissure toute blanche : *Penicillium candidum*. Pour peu que les éclisses en soient infectées, la moisissure blanche sera toujours transmise aux fromages. Plus tard, elle sera supplantée par des bactéries d'un brun clair, qui forment de l'ammoniaque.

Les fromages à moisissure, qui tiennent le milieu entre les fromages durs et mous, sont ceux où les moisissures poussent dans l'intérieur de la masse. Attendu que les moisissures sont des organismes aérobies, c'est-à-dire exigeant le contact de l'air pour pouvoir croître, elles ne se développent que si la masse du fromage est plutôt friable, ou mieux quand on l'a percé de canaux aériens, ainsi que cela s'est

(10) Beitrag zur Käseanalyse (*Landwirtschaftliches Jahrbuch der Schweiz*, 1906).

pratiqué depuis bien longtemps pour le fromage de Roquefort. Au reste, il paraît que c'est une seule et même espèce de moisissures, à savoir le *Penicillium roqueforti*, qui produit l'arôme caractéristique de tous les fromages persillés. En vue de son emploi pour la fabrication du Roquefort, on la cultive sur du pain préparé d'une manière bien définie. Lorsque celui-ci en sera bien imprégné, on le dessèche, le moule et le tamise finement, puis, au cours du façonnage, le fromage en est saupoudré par couches. Comme il est impossible de préparer en grand de tel pain à moisissure de telle manière qu'il soit tout à fait débarrassé de moisissures étrangères, souvent très nuisibles, j'ai élaboré une méthode permettant de surmonter ces difficultés (1). En cultivant continuellement le *Penicillium roqueforti* avec addition de doses de formaline de plus en plus fortes, je suis parvenu à produire une race qui prospère très bien même en présence de plus de 1 pour cent de ce poison, en sorte que, cultivée à l'état de pureté, elle peut croître sur des tranches de pain trempées dans de l'eau additionnée de 1 pour cent de formaline ; car les moisissures y apportées par l'air sont tuées par la formaline.

Il ne nous reste qu'à parler des fromages de lait caillé par l'acide. Je serai bref, puisqu'ils sont d'importance secondaire. Au Danemark, nous n'en fabriquons que deux sortes, nommées « Appetitost » et « Klosterost » (c'est-à-dire fromage de couvent). C'est seulement en Suisse qu'on a réussi à produire un article d'exportation de ce genre, savoir le fromage vert des Alpes (*Schabzieger*). En collaboration avec de FREUDENREICH, j'ai étudié ce produit de plus près (2), et j'ai montré que le goût piquant qui le caractérise est dû à une fermentation butyrique. Ce n'est naturellement qu'après celle-ci que l'on procède à façonner le fromage ; car l'abondant dégagement de gaz qui accompagne cette fermentation fait éclater l'entière masse du fromage. Un excellent fromage norvégien de lait acidulé, dit « Gammelost » (vieux fromage), a été étudié de près par un savant du pays, M. SOP, qui a montré que la maturation est ici l'œuvre de certaines espèces de moisissure. Attendu que les fromages de lait acidulé ont généralement un goût beaucoup plus fort que ceux de présure, vu aussi que le fromage fait uniquement avec du lait écrémé est souvent d'un goût assez fade — défaut auquel on cherche à remédier par addition de cumin et d'autres condiments, — il est hors de doute que, lorsqu'on veut utiliser de pur lait écrémé pour la fabrication de fromage, il est tout indiqué de faire des fromages de lait caillé par l'acide.

(1) Roquefortost (Meelkeritidende, 1917).

(2) Über die im Schabzieger stattfindende Buttersäuregärung (*Centralblatt f. Bacteriologie*, II. Abt., 1907, XVII).