Application de la pasteurisation du lait par injection de vapeur à la fabrication du fromage Prato

Influence sur le rendement

par

M. M. FURTADO, A. F. WOLFSCHOON et R. F. VENTURA

Résumé

La pasteurisation du lait par un système d'injection directe de vapeur a été étudiée et les résultats ont été comparés à ceux obtenus quand le lait était traité par le procédé HTST traditionnel. L'influence de cette méthode sur les chiffres de transitions des éléments du lait pour le caillé et sur le rendement fromager dans la fabrication du fromage Prato, a été établie. Il a été démontré que le traitement par injection de vapeur permet une meilleure rétention de la matière grasse et des solides totaux du lait dans le caillé. La dénaturation des protéines lactosériques est aussi plus faible par rapport à celle observée dans le procédé HTST. On a vérifié une augmentation du rendement fromager (+ 5,20 %) quand le lait était pasteurisé par injection de vapeur.

Mots clés :

Injection de vapeur - Pasteurisation - Rendement fromager.

Summary

SUITABILITY OF MILK PASTEURISATION BY STEAM INJECTION
IN THE MANUFACTURING OF PRATO CHEESE - INFLUENCE ON THE YIELD

*Milk pasteurisation by steam injection system has been studied
and the results have been compared to those obtained by HTST milk*

treatment. The influence of that treatment on the transfer of milk components to the curd and the cheese yield has been established in the manufacturing of Prato cheese. It has been shown steam injection treatment allows a better retention of milk fat and dry matter in the curd. On the other hand, whey proteins denaturation has been found to be lighter as compared to results from HTST treatment. There has been an increase in cheese yield (+ 5,20 %) when milk was pasteurised by the steam injection system.

Key words :

Steam injection - Pasteurisation - Cheese yield.

I. INTRODUCTION

La production de fromages au Brésil a été en 1981, de 157 135 t, dont un tiers était correspondant au fromage Prato. Il s'agit d'un fromage à pâte pressée, demi-cuite, assez voisin des fromages danois et hollandais tels que le Danbo et le Gouda. C'est un fromage à pâte souple et de couleur jaunâtre (Furtado et Wolfschoon, 1978).

La loi brésilienne interdit de faire du fromage avec du lait cru. La plupart des usines fromagères ont des équipements modernes pour la pasteurisation du lait, par le système HTST (haute température/courte durée). Mais dans les petites fromageries, pour la fabrication traditionnelle de fromage Prato, on emploie encore le système dit par « injection de vapeur » (Furtado et Wolfschoon, 1983).

Il s'agit essentiellement d'une buse qui introduit un jet de vapeur au sein d'une chambre d'expansion où il y a un effet de Venturi (fig. 1). Le lait à chauffer est ainsi entraîné et chauffé par le jet de vapeur dans cette chambre de mélange. Puis le mélange (vapeur + lait) est conduit dans un tuyau de chambrage d'environ 20 mètres de long où il est maintenu pendant 15-24 secondes avant d'être refroidi. La condensation de la vapeur entraîne une incorporation d'eau, ce qui amène à une dilution du lait pouvant varier de 6,99 à 10,52 %, en fonction de la pression de la vapeur (entre 2,1 et 6,30 Kgf/cm²) et la température initiale du lait cru (entre 10 et 30° C) (Ventura, 1981).

Cet appareil est très intéressant pour les petites usines en raison du faible investissement qu'il nécessite et de son coût de maintien très bas par rapport à l'équipement HTST.

Ce traitement thermique entraîne des modifications sensibles au niveau des composants du lait et expérimentalement il est connu que l'on obtient un meilleur rendement dans la fabrication des fromages comme le Prato à partir de lait ainsi traité.

Le présent travail a pour objet l'étude de la rétention des éléments du lait dans le caillé, et donc du rendement fromager en employant la même méthode de fabrication du fromage Prato à partir

Figure 1

Représentation schématique d'un appareil d'éjection de vapeur d'après Ribeiro (1947)

1. Buse de vapeur
2. Chambre de vide
3. Passage du lait provenant du tank avec du lait cru
4. Sortie du mélange lait et vapeur.

du lait pasteurisé, soit par injection de vapeur, soit par le système HTST, dans le but de préciser les conséquences sur les composants du fromage de ces deux types de traitements thermiques, et aussi de déterminer l'éventuel avantage de l'un par rapport à l'autre pour les petites fromageries brésiliennes.

II. MATERIEL ET METHODES

1. Pasteurisation du lait

Le lait utilisé pour les expériences était du lait cru, de grand mélange, provenant de la région de Juiz de Fora. Le lait était maintenu dans un même réservoir avant d'être pasteurisé. Un échantillon de lait cru était prélevé dans ce tank. Une partie du lait était soumise à la pasteurisation rapide par chauffage à 74° C, pendant 15 secondes, dans une installation APV équipée d'un échangeur à plaques dont le débit était de 5 000 l/heure. Après pasteurisation le lait était refroidi à 32° C.

L'autre partie du lait était soumise à la pasteurisation par injection de vapeur. Le lait était chauffé à 74° C ; le temps de séjour variait entre 20 et 24 secondes. Les temps de séjour désirés étaient

réalisés par l'incorporation adéquate de tuyaux dans la section de chambrage. La température était contrôlée à l'aide de deux thermomètres, l'un placé juste après la chambre d'expansion, au début du circuit, et l'autre à la fin de la section de chambrage. Le lait était refroidi à 32° C dans un refroidisseur à flot tombant.

2. Fabrication du fromage

Toutes les opérations concernant la fabrication des fromages étaient effectuées dans une petite cuve de fabrication d'un volume d'environ 100 l. Compte tenu de l'incorporation d'eau au lait pasteurisé par injection de vapeur, les quantités de levain, présure, chlorure de calcium et colorant (roccou) étaient ramenées au volume réel de lait ; le taux de dilution était calculé à partir des teneurs en solides totaux du lait avant et après traitement thermique ; l'incorporation d'eau était voisine de 9,3 %.

La technique d'élaboration du fromage Prato et le calcul des rétentions des éléments du lait étaient réalisés selon Furtado et Wolfschoon (1978) ; la seule modification introduite dans la technique originale a été l'addition de 15 % d'eau au lactosérum 20 minutes après le tranchage du caillé. Dix essais ont été réalisés.

3. Déterminations analytiques

Les échantillons de lactosérum étaient prélevés quelques minutes après le découpage du caillé ; les échantillons des fromages étaient prélevés à la fin du pressage et avant le salage en saumure. Chaque détermination a été réalisée en double.

L'extrait sec total du lait, du lactosérum et du fromage était déterminé à l'étuve, 105° C $\pm$ 1° C, par la méthode décrite par l'AOAC (1975).

La densité du lait et lactosérum a été effectuée à l'aide d'un lactodensimètre Quevenne, dont les résultats étaient corrigés pour 15° C.

La détermination de la teneur en matière grasse du lait et lactosérum était faite à l'aide d'un appareil Milko-Scan 104 (A/S N.Foss Electric) étalonné avec du lait cru, ayant pour référence la méthode traditionnelle de Gerber.

La teneur en matière grasse des fromages était déterminée en utilisant la méthode de Gerber-Van Gulik.

La détermination de la teneur en lactose du lait et du lactosérum était faite à l'aide d'un appareil Milko-Scan 104 (A/S N.Foss Electric) étalonné avec du lait cru, ayant pour référence la méthode de la chloramine-T décrite par la FIL (1974).

L'azote total du lait, lactosérum et fromage était dosé par la méthode micrométrique de Kjeldahl. Pour le lait, la méthode infra-

rouge (Milko-Scan 104) a été appliquée. En ce qui concerne le lait, les fractions azotées ont été extraites par la technique d'Aschaffenburg et Drewry (1959). La teneur en protéines lactosériques (WPN) a été calculée d'après la différence entre l'azote non caséinique (NCA) et l'azote non protéique (NPN).

Le degré de dénaturation, exprimé en pourcentage des protéines lactosériques, a pu être calculé par comparaison de la teneur résiduelle en WPN du lait thermisé avec la valeur trouvée dans le lait cru.

Les résultats étaient soumis à l'analyse statistique pour déterminer les moyennes, l'écart-type, le coefficient de variation et, à travers des analyses de variance, le niveau de signification des valeurs trouvées.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans le tableau 1 sont rassemblées les valeurs moyennes relatives à la composition du fromage Prato (humidité et matière grasse), rendement de la fabrication et le pourcentage de dénaturation des protéines lactosériques dans le lait traité par les deux systèmes étudiés.

Comme on peut le voir, les fromages ont à peu près la même composition en ce qui concerne la teneur en matière grasse (26,0 et 27,6 % pour les systèmes HTST et Injection, respectivement) et humidité (47,3 et 47,4 % pour les systèmes HTST et Injection, respectivement). L'analyse de variance a montré que ces moyennes ne sont pas significativement différentes au niveau de 0,05. Cela est probablement dû au fait que l'on a employé exactement la même technique d'élaboration pour les deux fromages.

Dans le tableau 1 on constate que le procédé dans lequel le lait était pasteurisé par le système HTST le rendement fromager atteint 11,5 % contre 12,1 % pour celui observé dans la fabrication avec du lait pasteurisé par injecteur. Les fromages ayant la même teneur en eau et en matière grasse, il y a donc une augmentation nette du rendement par le procédé « injecteur ». La différence constatée est statistiquement significative au seuil de 0,05. L'origine de cette augmentation de rendement doit être recherchée au niveau de la rétention dans le fromage des différents éléments du lait.

Les protéines sont susceptibles de dénaturation sous l'effet de la chaleur. La détermination du degré de dénaturation fournit des indications quant à l'intensité du traitement thermique. Les résultats sont reproduits dans le tableau 1. Le lait pasteurisé par le procédé HTST présentait un degré de dénaturation protéique (15,56 %) habituel et qui est beaucoup plus important que celui observé dans le procédé en comparaison (7,44 %). Larson et Roller (1955) ont étudié la dénaturation des protéines solubles par la chaleur et ont trouvé qu'après un chauffage du lait à 66° C, pendant 30 minutes, 15,2 %

TABLEAU 1 - TABLE 1

Comparaison des résultats obtenus dans la fabrication du Prato par les deux méthodes de pasteurisation du lait.

Comparison of the results obtained in the manufacturing of Prato cheese by using the two types of milk pasteurisation.

Facteur	% dénaturation protéines lactosériques		% humidité des fromages		% matière grasse des fromages		Rendement de la fabrication (%)	
	HTST	Injecteur	HTST	Injecteur	HTST	Injecteur	HTST	Injecteur
Nombre d'essais (n)	7	7	10	10	10	10	10	10
Moyenne (x)	15,56	7,44	47,34	47,43	26,02	27,63	11,53	12,13
Ecart-type (s)	3,77	3,10	2,50	1,82	2,14	1,16	0,52	0,57
Coefficient de variation (%) C.V	24,23	41,67	5,28	3,84	7,92	4,19	4,51	4,69
Signification statistique (a)	S ($P < 0,05$)		NS ($P > 0,05$)		NS ($P > 0,05$)		S ($P < 0,05$)	

(a) NS = non significatif

S = significatif

des protéines lactosériques avaient été dénaturées. Des essais comparatifs effectués en Australie (Zadow, 1969) montrent que la proportion des protéines solubles dénaturées lors du chauffage direct est moins élevée que dans le cas des procédés indirects, dans le traitement UHT du lait.

L'analyse statistique montre que la différence entre les moyennes signalées est significative au seuil de 0,05. Les résultats obtenus étaient variables, d'où des coefficients de variation atteignant 24,23 % pour le procédé HTST et 4,67 % pour le procédé injecteur.

Il découle des résultats obtenus que l'augmentation de rendement observée dans le lait traité par injection de vapeur n'a pas son origine dans une rétention supplémentaire des protéines lactosériques thermocoagulées dans le caillé obtenu par action de la présure.

Le degré de chauffage et la durée du traitement étaient les mêmes dans les deux procédés. Mais, il faut tenir compte que lors de la soumission du lait au traitement de chauffage direct par injection, il y a dilution instantanée du lait. Il est possible que cette dilution du lait soit à l'origine du degré de dénaturation observé dans ce procédé, comme cela a été montré par Pierre *et al.* (1977). Les auteurs ont démontré que l'augmentation de la concentration en protéines dans les rétentats de lait de vache et de chèvre favorise la dénaturation thermique des protéines solubles.

Dans le tableau 2 sont montrés les résultats concernant la composition moyenne du lait traité par injection de vapeur et HTST, ainsi que la composition moyenne des lactosérums respective. En raison de la dilution du lait, découlant de la condensation de la vapeur, les composants se trouvent en teneur réduite en %, dans le lait traité

TABLEAU 2 - TABLE 2

Composition moyenne (%) du lait et lactosérum

Average composition (%) of milk and whey

Constituants	Lait		Lactosérum	
	HTST	Injecteur	HTST	Injecteur
Extrait sec total	12,43	11,29	7,36	6,14
Matière grasse	3,79	3,48	1,16	0,67
Protéines	3,42	3,08	0,96	0,89
Lactose	4,73	4,26	4,86	4,42

par injecteur et le lactosérum de la fabrication correspondante. On a constaté une incorporation d'eau moyenne de 9,31 %. Donc, pour les calculs de la rétention de chaque composant dans le caillé, il faut tenir compte du volume d'eau incorporé de façon à ce que la détermination du rendement fromager soit précise. En utilisant ces données moyennes, on peut déterminer la rétention de chaque composant (%), selon la méthode décrite par Furtado et Wolfschoon (1978).

Dans le tableau 3, sont présentés les résultats concernant les rendements des différents composants du lait dans la fabrication du fromage Prato. En ce qui concerne le lactose une rétention de 7,90 % était observée dans le procédé HTST et de 6,82 % dans le procédé par injection de vapeur. La différence n'était pas significative au niveau de 0,05. Lors de leur étude sur la fabrication du fromage Prato, Furtado et Wolfschoon (1978) avaient trouvé une rétention de 7,39 % pour le lactose et de 80,39 % pour les protéines. Lors de cette étude les valeurs de 74,40 et 73,63 % étaient établies respectivement pour les procédés de pasteurisation du lait par les systèmes HTST et injecteur de vapeur (tableau 3). Ces chiffres sont à rapprocher de ceux obtenus par Antila *et al.* (1982) qui ont déterminé une rétention respective de 76,8 et 75,9 % des protéines du lait dans l'élaboration des fromages Edam et Emmental. La différence observée dans notre étude n'était statistiquement significative (au niveau de 0,05) que pour la rétention de protéines lors de l'emploi de lait traité par les deux systèmes de pasteurisation.

Outre la rétention du lactose et des protéines, nous avons déterminé aussi le pourcentage de rétention de l'extrait sec total et de la matière grasse (tableau 3). Les résultats montrent que lorsque le lait était pasteurisé par injection de vapeur, 82,84 % de la matière grasse était retenue dans le fromage par rapport à seulement 72,31 % de rétention quand il s'agissait du traitement HTST. L'analyse de variance a montré que cette différence est significative au niveau de 0,05. Cette rétention supplémentaire de la matière grasse est à l'origine de la rétention d'extrait sec total plus élevée dans le caillé provenant du lait traité par injection de vapeur (50,84 %) que dans celui issu de lait par le procédé HTST (46,2 %). La différence entre les moyennes est significative, au seuil de 0,01. Nos résultats sont inférieurs à ceux trouvés dans la fabrication du fromage Cheddar, par Van Slyke et Price (1941) qui ont déterminé une rétention respective de 91,6 et 50,32 % de matière grasse et solides totaux. Cet écart est probablement à rechercher dans les différences de technologie existant entre ces deux types de fromage. Il est, en effet, connu que les opérations de découpage et de brassage du grain de caillé dans le lactosérum peuvent modifier de façon notable la rétention de la matière grasse dans le fromage final. Il semble que le moment choisi pour le prélèvement des échantillons de lactosérum peut aussi faire varier la détermination de pourcentage de rétention de la matière grasse dans le caillé. En effet, Furtado et Wolfschoon (1978) ont déterminé une rétention de la matière grasse de l'ordre de 83,8 %

TABLEAU 3 - TABLE 3

Rétention (%) des différents composants du lait pasteurisé par les deux méthodes dans la fabrication du fromage Prato.

Retention (%) of different milk components in the curd from milk pasteurized by two systems, in Prato cheesemaking.

Facteur	Extrait sec total		Matière grasse		Protéines		Lactose	
	HTST	Ejecteur	HTST	Ejecteur	HTST	Ejecteur	HTST	Ejecteur
Nombre d'essais (n)	7	7	7	9	7	7	7	7
Moyenne (x)	46,62	50,84	72,31	82,84	74,40	73,63	7,90	6,82
Ecart-type (S)	2,69	2,84	4,77	1,91	1,40	1,40	1,88	2,33
Coefficient de variation (%) C.V	5,77	5,59	6,59	2,30	1,88	1,90	23,8	34,16
Signification statistique (a)	S (P < 0,01)		S (P < 0,05)		NS (P > 0,05)		NS (P > 0,05)	

(a) NS = non significatif
S = significatif

contre 72,31 % dans cette étude, pour le même fromage Prato. Cependant, dans l'étude précédente, l'échantillon de lactosérum était collecté à la fin du brassage, quand la température était d'environ 41° C. Dans cette étude il a fallu prélever les échantillons de lactosérum avant le chauffage, parce que celui-ci était fait à l'aide de l'eau chaude qui entraînait une dilution du lactosérum dans la cuve. Probablement il y a une meilleure distribution des globules gras dans le lactosérum après le chauffage.

La rétention élevée de matière grasse dans le caillé est à l'origine de l'augmentation du rendement fromager observée à partir de lait pasteurisé par injection de vapeur (+ 5,20 %). Il est connu que le chauffage du lait par introduction de vapeur (système UHT) entraîne une homogénéisation (Harper et Hall 1981). Les auteurs ont observé que dans un équipement français il y a une augmentation de 57 % du pourcentage de globules gras de diamètre inférieur à 2 microns. Le même effet a été constaté par Zadow (1969) qui, en étudiant les effets du traitement UHT (chauffage direct) sur les globules gras de lait, a observé une élévation de 7,6 jusqu'à 45,9 %, dans le pourcentage des globules de 1 micron, à température de 80° C. Un effet similaire pourrait être obtenu avec l'injecteur de vapeur, dû à la turbulence et haute pression de la vapeur, dans la chambre de mélange. Or il est connu depuis les travaux d'Ernstrom (1980) qu'il y a une augmentation de la rétention de la matière grasse dans le caillé si le lait de fabrication est préalablement homogénéisé.

IV. CONCLUSION

Comme on a pu le voir, il y a des différences entre le traitement classique du lait par le système HTST de pasteurisation et le système par injection de vapeur, employé dans de petites usines au Brésil. L'étude statistique de nos données permet de constater que la pasteurisation du lait par injection de vapeur entraîne une augmentation significative du rendement fromager, par rapport à la pasteurisation traditionnelle (HTST).

Le chauffage direct avec de la vapeur provoque une turbulence et une dilution dans la chambre de mélange qui amènent à des modifications physico-chimiques de certains composants du lait, principalement les protéines lactosériques et la matière grasse.

Le chauffage direct par la vapeur, dans les conditions établies dans cette étude, entraîne une dénaturation protéique beaucoup plus légère que dans le système HTST. L'interprétation de ce résultat doit prendre en compte le fait que la condensation de la vapeur provoque une incorporation d'eau au lait, qui pourrait être à l'origine de ce degré de dénaturation plus léger. Toutefois, aucune relation entre le degré de dénaturation protéique et le rendement fromager n'a pu être établie.

Les modifications plus importantes observées dans cette étude sont situées au niveau de la rétention de la matière grasse du lait dans le caillé, au moment du découpage. La pasteurisation du lait par injection de vapeur, entraîne une augmentation nette de la rétention de la matière grasse et, par conséquence, des solides totaux du lait dans le caillé.

Cela est probablement dû au fait que le jet de vapeur à haute pression joue le rôle d'homogénéisateur des globules gras, dans la chambre d'expansion. Ayant une taille beaucoup plus petite, les globules se trouveraient mieux distribués dans la masse liquide et au moment de la coagulation, ils seraient mieux retenus dans les cubes de caillé.

L'étude que nous avons entreprise n'est évidemment pas complète. En particulier il est probable que l'affinage de ces fromages risque d'être différent, parce que l'accessibilité de la matière grasse aux enzymes est plus élevée dans le cas des fromages issus de lait traité par injection de vapeur. Il est aussi nécessaire de rechercher les conditions optimales d'utilisation des équipements à injection de vapeur dans les usines fromagères.

Bibliographie

- ALAIS (C.) (1974). — Science du lait : Principe des techniques laitières. 3^e édition, Edition Publicité, Paris.
- ANTILA (V.), HAKKARAINEN (H.) et LAPPALAINEN (R.) (1982). — The transfer of milk components to Finish Edam and Emmental cheese. *Milchwissenschaft*, 37, 321-324.
- ASCHAFFENBURG (R.) and DREWRY (J.) (1959). — New procedure for the routine determination of the various non-casein proteins of milk. *15th In. Dairy Congress*, 3 (5), 1631.
- Association of Official Analytical Chemists (1975). — 12th ed. Washington, D.C., USA.
- ERNSTROM (C.A.) (1980). — Milk-clotting enzymes and their action. In « *Fundamentals of Dairy Chemistry* », edited by Webb (B.H.), Johnson (A.H.) and Alford (J.A.), 2nd ed., The AVI Publishing Company Inc., Westport.
- FURTADO (M.M.) et WOLFSCHOON (A.F.) (1978). — Etude de quelques aspects de la fabrication des fromages brésiliens Prato et Minas. *Le Lait*, 58, 510-530.
- WOLFSCHOON (A.F.) et FURTADO (M.M.) (1983). — Uma tecnologia a ser preservada : o queijo Prato da região Sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Tecnologia*, 14 (5/6), 50-54.
- HARPER (W.J.) and HALL (C.W.) (1981). — Dairy Technology and Engineering. The AVI Publishing Company, Inc., Westport.
- International Dairy Federation (1974). — Determination of the lactose content of milk. *Norm FIL-IDF*, 28.
- LARSON (B.L.) et ROLLERI (G.D.) (1955). — Heat denaturation of the specific serum proteins in milk. *J. Dairy Science*, 38, 351.

- PIERRE (A.), FAUQUANT (J.) et PIOT (M.) (1977). — Influence des traitements thermiques sur les propriétés physicochimiques des retentats obtenus par ultrafiltration de lait de vache et de lait de chèvre. I - Dénaturation des protéines solubles. *Le Lait*, 57, 646-662.
- RIBEIRO (J. A.) (1947). — Pasteurização à jato direto. *Boletim do Leite*, Rio de Janeiro, 20, 140-145.
- VAN SLIKE (L. L.) and PRICE (W. V.) (1941). — Cheese. I Basic Technology. Orange Judd Pub Co. Inc., New York.
- VENTURA (R. F.) (1981). — Caracterização do sistema ejetor de vapor na pasteurização de leite destinado à fabricação de queijos. Thèse de Maîtrise ès Science. Universidade Estadual de Campinas, Brasil.
- ZADOW (J. G.) (1969). — Studies on the ultra heat treatment of milk. Part 1 - Comparison of direct and indirect heating of whole milk. *Austr. J. Dairy Technology*, 24, 44-49.
-