



Préparation de fromage à partir de " pré-fromage liquide " obtenu par ultrafiltration du lait

J.L Maubois, G. Mocquot, J. L. Thapon, Marie-Christine Humilier, A. Chopin, H. Goudedranche, C. Dupas, E. Blanc-Patin, M. Piot, J. Fauquant

► To cite this version:

J.L Maubois, G. Mocquot, J. L. Thapon, Marie-Christine Humilier, A. Chopin, et al.. Préparation de fromage à partir de " pré-fromage liquide " obtenu par ultrafiltration du lait. *Le Lait*, 1971, 51 (508), pp.495-533. hal-00928559

HAL Id: hal-00928559

<https://hal.science/hal-00928559>

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Préparation de fromage à partir de « pré-fromage liquide » obtenu par ultrafiltration du lait

par

J. L. MAUBOIS* et G. MOCQUOT**

avec la collaboration de J. L. THAPON*, Marie-Christine HUMILIER*,
A. CHOPIN*, H. GOUDEDRANCHE*, C. DUPAS****,
E. BLANC-PATIN***, M. PIOT*
et J. FAUQUANT*

(Institut National de la Recherche Agronomique)

Traditionnellement, les fromages (et en particulier les fromages à pâte molle qui sont parmi les plus typiques de la production fromagère française) s'obtiennent en transformant le lait liquide en un gel grâce à l'addition d'un enzyme coagulant. Le liquide interstitiel du gel, c'est-à-dire le lactosérum, est expulsé progressivement par synérèse. Au cours de cette synérèse le gel se concentre peu à peu en ses éléments principaux (graisse et protéines avec une certaine quantité de substances minérales) et acquiert la forme, la consistance et la composition caractéristiques du fromage que l'on cherche à préparer. Les fromagers praticiens appellent « égouttage » la dernière phase de la synérèse, celle qui commence au moment où le gel est placé dans un moule.

Lorsque la fromagerie est passée du stade fermier ou artisanal au stade industriel, on s'est aperçu que l'étape essentielle, autrement dit l'ensemble des opérations de traitement du gel, comportait certes l'avantage (décisif au stade de la ferme ou de l'artisan), d'une remarquable simplicité et facilité de mise en œuvre, mais aussi un certain nombre d'inconvénients à partir du moment où l'on souhaitait régulariser et uniformiser les opérations au stade industriel.

* Laboratoire de Recherches de Technologie Laitière, I.N.R.A., 65, rue de Saint-Brieuc (35) Rennes.

** Station Centrale de Recherches Laitières, I.N.R.A., C.N.R.Z. (78) Jouy-en-Josas.

*** Station Expérimentale Laitière, I.N.R.A. (39) Poligny.

**** Laiteries E. Bridel (35) Retiers.

Voici quels sont les principaux inconvénients dans le cas des fromages à pâte molle :

1. Le mélange de gel et de liquide expulsé par synérèse ou, en termes de pratique fromagère, le mélange de « caillé » et de « lactosérum » ne constitue pas un « milieu » homogène.

1.1. En effet lors du découpage du caillé, le récipient dans lequel s'est produite la coagulation du lait contient un mélange de caillé partiellement « égoutté » et de lactosérum déjà expulsé. Même si le découpage s'opère « en douceur », comme c'est le cas avec le procédé traditionnel de remplissage des moules « à la louche », les proportions relatives de caillé et de lactosérum ne demeurent pas les mêmes au fur et à mesure que les ouvriers fromagers distribuent ce caillé dans les moules où doit se poursuivre l'égouttage : en fait certains moules reçoivent plus de caillé, d'autres davantage de lactosérum. Avec les premiers on obtiendra, après égouttage, un « gros » fromage, avec les seconds un fromage plus « petit ». L'irrégularité de cette distribution est encore accentuée par le fait que l'on opère de façon discontinue, par récipients successifs (« bassines ») contenant le caillé et, qu'entre le moment où l'on commence la répartition du contenu d'une bassine et celui où on la termine, le caillé « évolue » du fait de la synérèse.

1.2. L'hétérogénéité du milieu juste avant et pendant le moulage, n'est pas seule en cause. L'égouttage ultérieur en moules introduit lui-même une deuxième source d'hétérogénéité entre les fromages : en effet cet égouttage en moules est gouverné par des facteurs assez nombreux, l'un des plus importants étant l'abaissement du pH résultant de la fermentation lactique qui se développe et facilite ainsi la progression de l'égouttage. Mais, précisément, de petites variations de température d'un moule à l'autre, d'une table d'égouttage à l'autre, à l'intérieur d'un même lot de fromages, favorisent ou ralentissent plus ou moins la fermentation lactique. D'où un nouvel élément de variation contribuant à la dispersion des poids dans ce lot de fromages.

Or beaucoup de fromages à pâte molle sont vendus « à la pièce » et non au poids. La réglementation en vigueur en France exige cependant que chaque fromage à pâte molle contienne une quantité de substance sèche qui ne soit pas inférieure à une certaine valeur fixée par la réglementation. Le fabricant, soucieux de garantir cette quantité de substance sèche malgré la dispersion des poids, se trouve donc amené à prendre une « marge de sécurité », c'est-à-dire à fabriquer un fromage « moyen » contenant plus de substance sèche que celui prévu par la réglementation de façon que les plus « petits » fromages soient encore conformes à la loi. D'où pour le transformateur, un manque à gagner notable et surtout un élément d'incertitude qui rend difficile l'adoption d'une technologie précise.

Les développements récents en technique fromagère n'ont pas, malgré leur intérêt sur d'autres plans, apporté de solution à cette

difficulté. C'est ainsi que plusieurs procédés réalisent la production du caillé en continu (Ubbels et Van der Linde, 1962 ; Seffac, 1962) mais les essais réalisés en fromagerie de pâte molle ont montré jusqu'à ce jour qu'ils ne faisaient que réduire, sans la supprimer, la source d'hétérogénéité signalée au paragraphe 1.1. Il en est de même pour d'autres procédés qui mécanisent les opérations en agissant sur la synérèse du coagulum formé par la présure (Waldner-Roiner ; Alpma ; Rematom, 1965 ; Hugonnet, 1966 ; Bridel, 1966).

Tous ces procédés aboutissent finalement dans le cas des fromages à pâte molle à des fromages à peu près aussi hétérogènes, en ce qui concerne leurs poids, que ceux obtenus avec la technique fromagère classique car la maîtrise de l'égouttage du coagulum obtenu par action de la présure échappe en grande partie au praticien fromager en raison de la multiplicité des paramètres à contrôler. En outre, le champ d'application des divers procédés mentionnés est assez étroit et leur mise en œuvre peut être rendue difficile en raison de la variabilité de composition du lait suivant les saisons, les régions, etc. Cette variabilité demande une adaptation, au jour le jour, de divers paramètres de la recette technologique et une telle adaptation est en pratique difficile à obtenir avec régularité.

2. Sur le plan pratique, en ce qui concerne les investissements en matériel et en locaux de fromagerie, on doit noter que les salles d'égouttage occupent une surface et un volume relativement importants dans les fromageries de pâtes molles.

3. Dans le même ordre d'idées, la fabrication des fromages à pâte molle (fromages de petit format) exige une main-d'œuvre importante pour effectuer les opérations de caillage, de distribution du caillé dans les moules et d'égouttage. En outre, la température à laquelle les salles sont maintenues et l'humidité qui y règne rendent les conditions de travail assez pénibles pour le personnel qui doit y séjourner.

Face à ces divers problèmes, il nous a semblé que la seule façon de réduire, ou même de supprimer la dispersion des poids de fromage était de s'affranchir de la tendance du gel à l'hétérogénéité (décrite au paragraphe 1.1.). L'idée de maintenir les éléments du lait, qui normalement constituent le fromage (essentiellement protéines, graisse, sels minéraux, eau), sous forme d'un liquide homogène, que l'on puisse répartir facilement et vite en « doses » correspondant chacune à un fromage, en découlait. Mais une telle idée impliquait de s'affranchir également de l'égouttage du gel en effectuant l'opération d'égouttage avant même que l'on ne procédât à la coagulation du lait.

Pour satisfaire à ces conditions, une solution originale s'offrait grâce à l'emploi des membranes d'ultrafiltration.

Les conditions d'obtention de ces membranes, l'étude de leurs propriétés, des phénomènes physico-chimiques intervenant lors de

l'ultrafiltration de solutions macromoléculaires ont fait l'objet de nombreux travaux (Londsdale et *al.*, 1965 ; D.G.R.S.T., 1967 ; Michaels et Bixler, 1968 ; Michaels, 1968 ; De Filippi et Goldsmith, 1970 ; Blatt et *al.*, 1970). Ceci a conduit à des progrès notables dans nos connaissances et par suite dans les possibilités d'utilisation de ces membranes.

Parmi les utilisations les plus connues, on peut citer le dessalage de l'eau de mer par osmose inverse (Mc Dermott, 1970) et l'ultrafiltration du sang chez les malades souffrant d'affections rénales (Henderson et *al.*, 1967).

Plus récemment, d'autres applications ont porté sur divers produits destinés à l'alimentation humaine ou animale : jus de fruit (Merson et Morgan, 1968) ; sirop d'érable (Willits et *al.*, 1970) ; blanc d'œuf (Lowe et *al.*, 1969) ; lactosérum (Horton et *al.*, 1970 ; Mc Donough et Mattingly, 1970 ; Marshall et *al.*, 1968 ; Mc Donough, 1968 ; Milk Marketing Board, 1969 ; Peri et Dunkley, 1971 ; Fenton-May et *al.*, 1971 ; Porter et Michaels, 1971 ; Nielsen et *al.*, 1970 ; Madsen, 1970).

L'osmose inverse et l'ultrafiltration sur membrane peuvent, dans ces domaines, se substituer avantageusement à certains procédés existants (notamment aux procédés classiques de concentration par chauffage sous vide partiel) dans lesquels l'élimination de l'eau ou la séparation de tel ou tel constituant (par rapport à d'autres présents dans le produit d'origine) représente le but à atteindre.

L'opération principale de la fromagerie de pâte molle, « l'égouttage » décrit ci-dessus, paraissait réalisable sur le lait lui-même grâce à l'emploi d'un type de membrane adéquat. En éliminant du lait, avant toute coagulation et fermentation, la quantité voulue d'eau, de lactose et de sels minéraux, on devait obtenir un produit ayant sensiblement la même composition que le fromage égoutté c'est-à-dire présentant notamment, comme les fromages à pâte molle, une teneur en protéines environ cinq à six fois plus forte que celle du lait de départ. Les teneurs en lactose et en sels minéraux devaient rester du même ordre que ce qu'elles étaient dans le lait. Avec un tel produit maintenu à l'état liquide, la répartition en « doses » correspondant chacune à un fromage pouvait se faire aisément et il suffisait de coaguler ce liquide par la présure pour obtenir peu de temps après, avec leur forme et leur poids définitifs, des fromages de composition uniforme.

Tels sont les points de départ qui ont conduit l'Institut National de la Recherche Agronomique à l'élaboration d'un procédé de traitement du lait par ultrafiltration en vue de fabriquer des fromages et notamment, dans un premier temps, des fromages à pâte molle (Maubois, Mocquot et Vassal, 1969).

Le procédé a été étudié en collaboration avec la Société des Laiteries E. Bridel et la Société des Usines Chimiques Rhône-Poulenc et a bénéficié du concours financier de la Délégation Générale à la

Recherche Scientifique et Technique (1). Il présente un certain nombre d'avantages, outre ceux déjà signalés, avantages que l'on précisera plus loin. On verra également comment il peut pallier ou résoudre les inconvénients mentionnés aux points 2 et 3.

Bien entendu, le procédé, pour être applicable en pratique, devra :

a) aboutir à des fromages présentant des qualités organoleptiques au moins équivalentes à celle des fromages préparés selon les procédés classiques et

b) offrir les garanties désirables sur le plan sanitaire et hygiénique.

DESCRIPTION DU PROCEDE

1) Obtention du « pré-fromage liquide »

Le lait écrémé (2) (cru ou traité thermiquement), amené et maintenu à une température voisine soit de 4° C, soit de 50° C selon les essais, était ultrafiltré sur une membrane semi-perméable présentant une perméabilité telle que seuls les éléments solubles du lait, c'est-à-dire essentiellement le lactose, les sels minéraux solubles et les substances azotées non-protéiques puissent passer au travers de ladite membrane.

Cette opération permettait d'obtenir deux liquides :

a) Un premier liquide traversant la membrane et que l'on appelle pour cette raison l'ultrafiltrat. Ce liquide s'écoule constamment dans un récipient *ad hoc*. C'est un « lactosérum » dépourvu de substances azotées protéiques ainsi que des substances (caséino-maclopeptide, etc.) que la présure détache de la caséine lors de la coagulation.

b) Un second liquide qui ne passe pas à travers la membrane, ou « rétentat » (Fallick, 1969) et qui est un lait enrichi en protéines (caséine et protéines solubles). Ce liquide reste dans l'appareil et circule à grande vitesse au contact de la membrane pendant toute la durée de l'opération. On le recueille en fin d'opération.

(1) Contrat D.G.R.S.T. - I.N.R.A. n° 69 01 930.
 Marché D.G.R.S.T. - Bridel n° 69 02 064.
 Marché D.G.R.S.T. - Rhône-Poulenc n° 70 72 345.

(2) Dans les essais, on a préféré effectuer l'ultrafiltration sur du lait écrémé et non sur du lait présentant la teneur en matière grasse que renferme habituellement le lait destiné à la préparation des fromages à pâte molle.

La teneur en matière grasse du « pré-fromage » a été ajustée, après ultrafiltration, en ajoutant au « rétentat » la quantité convenable de crème.

Cette manière de procéder a paru plus simple et plus sûre ; en effet, le séjour prolongé au froid associé à une agitation et à une alternance de mise sous pression relativement élevée suivie de dépression aurait pu ne pas être sans inconvénients pour la stabilité de l'émulsion de matière grasse du lait et les qualités organoleptiques ultérieures des fromages. Cependant, quelques essais ont montré que l'ultrafiltration de lait entier pouvait être envisagée également.

L'opération d'ultrafiltration était poursuivie jusqu'à ce que la teneur en protéines du « rétentat » fut suffisante, ce qui correspond dans le cas de la fromagerie de pâte molle, à une teneur en matières azotées totales (protéines + substances non protéiques) de 17 à 19 g p. 100 g de produit au lieu de 3 à 3,2 g présents normalement dans 100 g de lait tel qu'il est sécrété par la mamelle de la vache.

Le produit obtenu est un liquide qui se prête aisément à toutes les mesures de poids, de volume, etc. et manipulations diverses. Son volume et son poids représentent environ le sixième de ceux du lait utilisé au départ. Il est possible de le conserver congelé à -30°C pendant plusieurs mois : quelques essais ont montré que les fromages fabriqués à partir de tels « pré-fromages » ne présentaient pas de différences avec les fromages fabriqués à partir du même « pré-fromage » immédiatement après l'obtention de celui-ci. Il est également possible de transporter ce « rétentat » en un lieu éloigné de son lieu de production, en raison du fait que le poids à transporter est bien moindre que celui du lait, pour la même quantité de substance sèche utile mise en œuvre. Ceci peut être avantageux dans certains pays et pour certaines structures laitières. Enfin, le « rétentat » se prête aussi à la déshydratation.

2) Transformation du « pré-fromage » en fromage à pâte molle

Le « rétentat » dont le pH (égal ou à peine inférieur à celui du lait de départ) était de 6,6 était amené à une température voisine de 30 à 32°C , additionné de la quantité nécessaire de crème fraîche possédant en général une teneur en matière grasse de l'ordre de 55 à 65 g p. 100 g de crème pour que le rapport « teneur en graisse / teneur en substance sèche totale du fromage « final » soit égal à la valeur recherchée (45 p. 100 ou 50 p. 100 par exemple, selon les fabrications).

Après un mélange soigneux de la crème et du « rétentat », mélange que nous avons désigné sous le terme de « pré-fromage liquide », on ajoutait selon les essais, soit 2 p. 100 d'un levain lactique classique préparé sur lait, soit 0,02 p. 100 d'une suspension congelée concentrée mixte de bactéries lactiques (*Streptococcus lactis* ou *Streptococcus cremoris* avec *Streptococcus diacetilactis*) (1).

Après maturation du « pré-fromage » jusqu'à un pH voisin de 6,1 on ajoutait quelques mg d'une préparation de spores de *Penicillium caseicolum* puis la quantité requise de présure commerciale de force 1/10 000.

Une quantité déterminée de « pré-fromage » (par exemple entre 350 et 400 g) était alors distribuée dans des moules présentant la forme définitive du fromage à pâte molle (par exemple des moules

(1) Ces suspensions étaient préparées par la Station Centrale de Recherches Laitières (I.N.R.A.) de Jouy-en-Josas.

avec fond d'un diamètre de 115 mm et d'une hauteur de 35 mm). 7 à 10 mn après l'addition de présure, la coagulation se produisait. Elle était suivie d'un durcissement très rapide et, 30 mn après coagulation, les fromages étaient démoulés, placés sur des « stores » dans des moules sans fond de mêmes dimensions que les précédents et conservés pendant 14 à 16 h au cours desquelles leur température s'abaissait progressivement de 30 à 17° C.

Les fromages étaient traités ensuite dans les conditions habituelles de la fromagerie de pâte molle, c'est-à-dire qu'ils étaient salés puis affinés en hâloir.

MATERIEL ET METHODES

Membranes d'ultrafiltration

Différents types de membranes fabriqués par les Sociétés Amicon (U.S.A.) ou Rhône-Poulenc (France), ont été utilisés (tabl. 1).

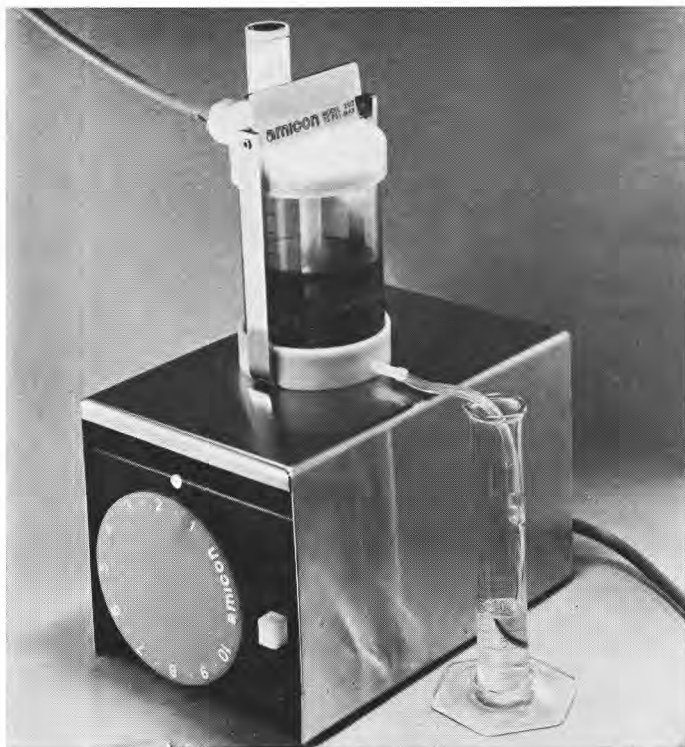


figure 1

Cellule d'ultrafiltration de laboratoire Amicon (U.S.A.) permettant de traiter 0,4 l par essai ; surface de membrane 0,39 dm².

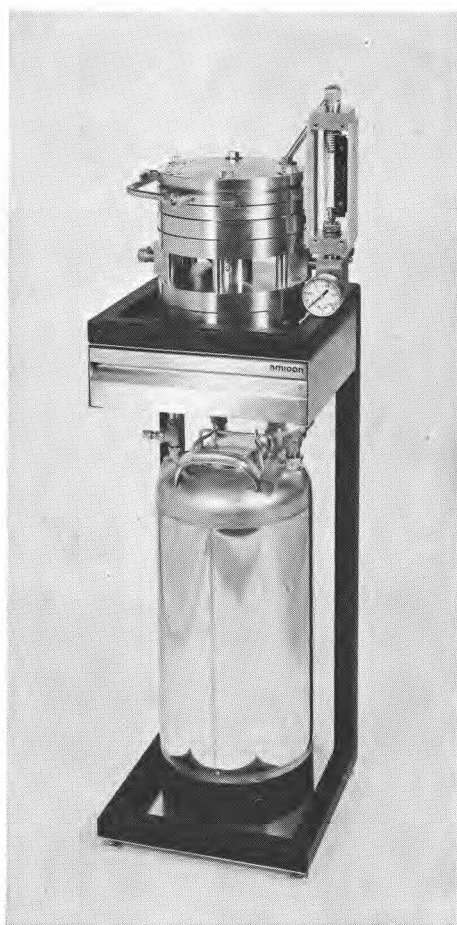


figure 2

Appareillage d'ultrafiltration Amicon (U.S.A.) permettant de traiter jusqu'à 18 l par essai. Surface de membrane 1,16 dm²

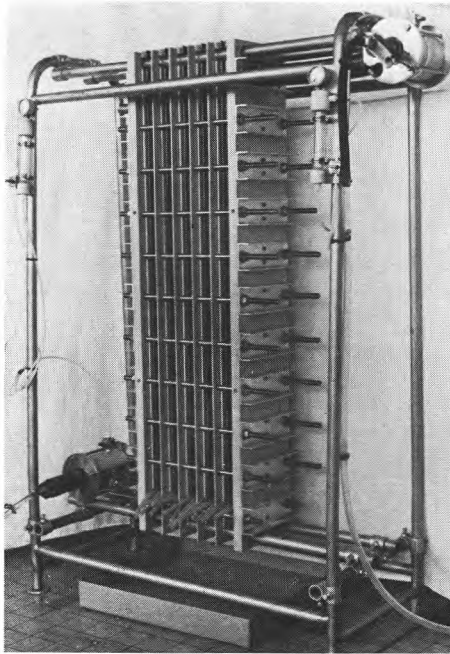


figure 3

Appareillage d'ultrafiltration Rhône-Poulenc (France) permettant
de traiter environ 500 kg de lait écrémé à 2° C par jour.
Surface de membrane 420 dm².

TABLEAU 1. — Appareillages et membranes utilisés

	Références	Indications portées dans le texte
Membranes	Diaflo UM 20 E*	a
	R.P. XSB 201**	b
	Diaflo PM 30*	c
	R.P. 30 69**	d
	R.P. XP 2.40**	e
Appareillages	Amicon 401*	A
	Amicon 2000*	B
	Amicon TCI*	C
	Assemblage expérimental***	D
	R.P. UF 4**	E

* Membranes Diaflo (N.D. Amicon) et appareillages Amicon en vente dans le commerce.

** Membranes et appareillage Rhône-Poulenc au stade expérimental.

*** Filtre-pressé du commerce adapté à l'ultrafiltration.

Appareillages d'ultrafiltration

Différents types d'appareillages ont également été utilisés ; le choix d'un appareil déterminé était surtout fonction des quantités de lait à traiter au cours de chaque essai. Ces appareillages étaient, soit des appareils que l'on peut se procurer dans le commerce (appareillages A, B et C de la Société Amicon), soit un assemblage expérimental (appareillage D), soit un prototype (appareillage E de la Société Rhône-Poulenc) ; voir les figures 1, 2 et 3 et le tableau 1).

Les appareillages A et B de la Société Amicon (U.S.A.) sont des cellules d'ultrafiltration de laboratoire où le liquide à ultrafiltrer, contenu dans un réservoir sous pression placé au-dessus de la membrane est agité à l'aide d'un agitateur magnétique.

Dans l'appareillage C de la Société Amicon (U.S.A.) et dans l'assemblage expérimental D, le lait contenu dans un réservoir sous pression d'azote est mis en mouvement à l'aide d'une pompe et circule à grande vitesse, en couche mince, parallèlement à la surface des membranes.

Dans l'appareillage E de la Société Rhône-Poulenc, le lait circule sous pression, à l'aide d'une pompe à moyenne pression (type Moineau par exemple), comme dans les appareillages C et D, mais est ramené à la pression atmosphérique à l'aide d'une vanne de détente avant de retourner dans la cuve de stockage. La mise au point de l'appareillage E se poursuit actuellement.

TABLEAU 2. — Caractéristiques et résultats d'essais de traitement du lait par ultrafiltration à basse température

Date et numéro des essais	25 mars 69 (1)	5 nov. 69 (2)	7 nov. 69 (3)	14 janv. 70 (4)	19 mars 70 (5)	22 juin 70 (6)	17 août 71 (7)	23 août 71 (8)
Appareillage	A	B	A	C	C	D	E	E
Membrane	a	a	b	b	c	b	d	d
Surface de membrane (en dm ²)	0,39	1,44	0,39	1,16	1,16	56	420	420
Pression (en bars)	5	5	5	5	3,5	3,0	3,0	3,0
Température (en °C)	4	4	4	4	2	2	2,3	3
Durée (en h et mn)	33.15	50.30	32.35	31.45	22.50	55.45	46.00	47.00
Quantité de lait traîtée	par essai (en kg) 0,4	2,0	0,4	4,8	6,0	100,0	1002,0	1002,0
	en kg/j/m ² *	74,0	66,0	75,7	315,3	539,7	76,9	124,0
								121,6

* en kg/j/m² : en kg de lait traités par jour et par m² de membrane.

TABLEAU 3. — Composition des produits obtenus lors du traitement du lait par ultrafiltration à basse température

	Numéro des essais	1	2	3	4	5	6	7	8
Lait	E.S.T.*	8,87	8,93	8,96	9,06	9,25	9,92	8,82	8,86
	M.A.T.*	3,16	3,15	3,18	3,21	3,33	3,09	3,26	3,33
	Cendres*	0,73	0,75	0,75	—	—	—	—	—
Rétentat	E.S.T.*	28,84	28,40	24,10	23,24	27,52	28,35	23,61	23,31
	Facteur de concentration pour E.S.T.**	3,3	3,2	2,7	2,6	3,0	2,9	2,7	2,6
	M.A.T.*	18,46	16,96	16,26	15,81	20,14	15,66	16,55	16,35
	Facteur de concentration pour M.A.T.**	5,8	5,4	5,1	4,9	6,0	5,1	5,1	4,9
	Cendres*	—	1,99	1,84	—	—	—	—	—
Ultrafiltrat	E.S.T.*	4,89	4,64	5,35	5,36	5,48	—	5,55	5,38
	M.A.T.*	0,14	0,17	0,13	0,12	0,13	—	0,18	0,18
	N.P.N. $\times 6,38^*$	0,13	0,12	0,12	0,12	0,13	—	—	—
	Cendres*	0,45	0,46	0,48	—	—	—	—	—

* Tous les résultats concernant les teneurs en E.S.T., M.A.T., cendres sont donnés en g d'E.S.T., M.A.T. ou cendres pour 100 g de lait, rétentat ou ultrafiltrat.

** Les facteurs de concentration sont des rapports entre teneurs : facteur de concentration pour E.S.T.=E.S.T. rétentat/E.S.T. lait et facteur de concentration pour M.A.T.=M.A.T. rétentat/M.A.T. lait.

Déterminations effectuées sur le lait et les divers produits obtenus

Les déterminations portant sur les constituants biochimiques étaient effectuées de la façon suivante :

Les teneurs en substance sèche étaient déterminées par dessiccation à l'étuve à 102° C - 104° C pendant 7 h.

Les teneurs en matière grasse (M.G.) de la crème, des fromages et du lactosérum étaient déterminées après extraction par le mélange éther de pétrole - éther diéthylique (normes de la Fédération Internationale de Laiterie).

Les teneurs en matières azotées étaient déterminées en dosant l'azote par microkjeldahl et en multipliant le résultat par le coefficient 6,38. L'azote non-protéique soluble dans l'acide trichloracétique à 12 p. 100 (N.P.N.) était déterminé selon White et Davies (1958). Pour faciliter les comparaisons, le résultat du N.P.N. était également multiplié par 6,38, bien que ce coefficient ne s'applique en principe qu'aux protéines.

Les teneurs en cendres étaient déterminées selon la méthode de l'A.O.A.C. (référence A.O.A.C. Standards, 1945).

Les teneurs en lactose étaient déterminées par la méthode de Bertrand.

Les caractéristiques des produits, au point de vue bactériologique étaient déterminées de la manière suivante :

a) La numération de la flore totale était effectuée par la méthode des dilutions décimales en boîtes de Petri renfermant un milieu gélosé nutritif (Plate Count Agar Difco n° 0479). Les boîtes étaient incubées à 30° C pendant 3 j.

b) La numération des germes coliformes était effectuée sur un milieu gélosé sélectif (Red Violet Bile Agar Difco n° 042001). Les boîtes étaient incubées à 30° C pendant 24 h.

c) La numération des germes thermophiles était effectuée comme celle de la flore totale mais les boîtes étaient incubées 24 à 48 h à 55° C. (Standard Methods, 1967).

Les caractères organoleptiques des fromages ont été examinés, après affinage, sur un certain nombre de lots de fromages. L'appréciation de ces qualités était faite par des experts choisis, d'une part aux Laiteries Bridel (dont le personnel est habitué à l'appréciation des fromages à pâte molle), d'autre part au Centre de Recherches Agronomiques (I.N.R.A.) de Rennes. Les échantillons étaient soumis aux experts de façon anonyme. Les examens portaient sur la couleur, le goût, la consistance, l'aspect et la qualité d'ensemble.

RESULTATS

1) Composition des produits obtenus lors du traitement du lait par ultrafiltration

a) *A température égale ou inférieure à 4° C*

Les tableaux 2 et 3 rassemblent les résultats les plus représentatifs obtenus avec les divers appareillages et membranes étudiés.

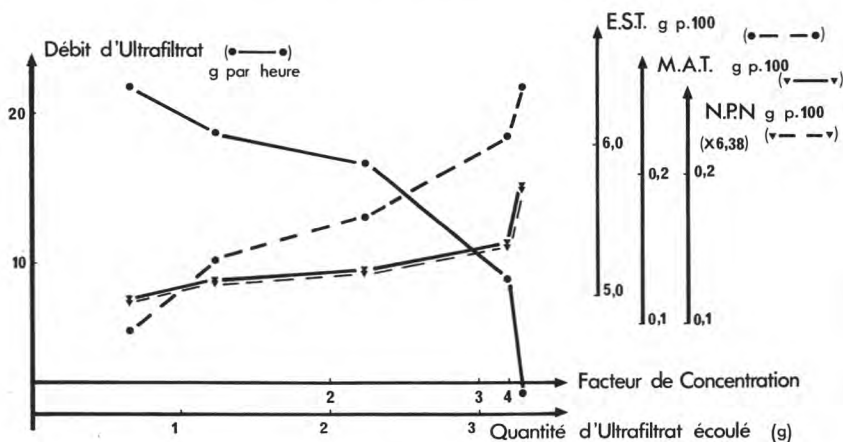


figure 4

Variation de la composition de l'ultrafiltrat au cours d'un essai d'ultrafiltration du lait à 2° C.

Appareillage A - Membrane b.

E.S.T. Teneur en substance sèche de l'ultrafiltrat.

M.A.T. Teneur en matières azotées totales ($N \times 6,38$) de l'ultrafiltrat.

N.P.N. Teneur en azote non-protéique de l'ultrafiltrat.

Facteur de concentration : rapport du poids de lait initial au poids de rétentat.

Les quantités de lait traitées par essai vont de 0,4 kg à plus de 1 000 kg pour des surfaces de membrane variant entre 0,39 dm² et 420 dm². Dans le but de définir une teneur en matières azotées totales (M.A.T.) optimale du pré-fromage, différentes teneurs en M.A.T. du rétentat correspondant à des concentrations plus ou moins poussées ont été expérimentées.

Les appareillages utilisés lors des essais 1 à 3 sont les cellules d'ultrafiltration de laboratoire. Avec ces cellules l'agitation du liquide à ultrafiltrer n'est pas uniforme dans toute la masse du liquide. La quantité de lait traitée par jour et par m² de membrane est dans ces conditions de l'ordre de 70 kg.

Dans les appareillages utilisés lors des essais ultérieurs (4 à 8) le liquide à ultrafiltrer circule en couche mince (épaisseur variant entre 0,75 et 4 mm) parallèlement à la surface de la membrane. Le phénomène dit de « concentration - polarisation » (Michaels, 1968) s'en trouve réduit et la quantité de lait traitée par jour et par m² de membrane augmente dans des proportions notables. Cette augmentation est plus forte dans les appareillages du type C (épaisseur de la lame de lait 0,75 mm) que dans les appareillages du type E (épaisseur de la lame de lait 4 mm). A l'intérieur d'un même type d'appareillage (essais 4 et 5 par exemple) les différences observées

proviennent des propriétés ultrafiltrantes particulières de chaque type de membrane et (ou) des différences dans les conditions opératoires, par exemple des variations dans la vitesse de circulation du liquide au contact de la membrane ou des variations de température survenues en cours d'ultrafiltration.

La teneur en substance sèche totale (E.S.T.) de l'ultrafiltrat recueilli varie avec le type de membrane utilisé. Elle est nettement plus faible avec les membranes du type a (en moyenne : 4,76 g p. 100) qu'avec les autres types de membrane (en moyenne 5,42 g p. 100).

De plus, la teneur en E.S.T. de l'ultrafiltrat augmente de façon assez sensible au cours de l'ultrafiltration : sur l'essai de la figure 4, elle varie de 4,76 g p. 100 au début, à 6,40 g p. 100 en fin d'ultrafiltration. Le tableau 6 permet de constater que le composant principalement responsable de cette variation est le lactose, pour lequel la quantité présente dans l'ultrafiltrat varie, pour l'essai mentionné au tableau 6 d'environ 0,8 g p. 100 g d'ultrafiltrat (de 3,87 à 4,64) entre la fraction U_1 et la fraction U_8 .

La teneur en matières azotées totales (M.A.T.) de l'ultrafiltrat augmente légèrement à mesure que l'ultrafiltration progresse et par conséquent que le « rétentat » s'enrichit en protéines (fig. 4) mais on voit qu'à tout moment il s'agit de substances azotées non-protéiques : cette teneur est en effet identique à celle du N.P.N. déterminée en même temps sur chacune des fractions d'ultrafiltrat recueillies.

La quantité d'ultrafiltrat recueillie par heure diminue considérablement lorsque le facteur de concentration en M.A.T. atteint une valeur supérieure à 5, c'est-à-dire lorsque la teneur en M.A.T. du rétentat atteint une valeur voisine de 15 g p. 100 g de rétentat. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus avec diverses solutions protéiques par différents auteurs (Fallick, 1969 ; Peri et Dunkley, 1971 ; Fenton-May et Hill, 1971).

b) *A une température voisine de 50° C*

Les résultats les plus représentatifs des essais effectués dans cette zone de température sont rassemblés dans les tableaux 4 et 5. Si l'on compare ces résultats avec ceux obtenus à 4° C, on observe que la quantité de lait traitée à 50° C par jour et par m² de membrane, est bien plus grande qu'à 4° C. L'augmentation est plus ou moins importante selon le type de membrane et le type d'appareillage utilisés. Avec les membranes du type c et l'appareillage du type C la quantité de lait traitée par jour et par m² de membrane atteint une valeur voisine de 1 600 kg, ce qui correspond au triple de la quantité de lait traitée dans les mêmes conditions, avec le même appareillage et la même membrane, à basse température (essai 5 du tableau 2). Les différences de performances observées sont à relier à la nature des membranes et aux caractéristiques hydrodynamiques de l'appareillage.

TABLEAU 4. — Caractéristiques et résultats d'essais de traitement du lait par ultrafiltration à température voisine de 50° C

Date et numéro des essais		4 déc. 69 (51)	27 janv. 70 (52)	3 fév. 70 (53)	17 fév. 70 (54)	14 mai 70 (55)	22 sept. 70 (56)	18 août 71 (57)	24 août 71 (58)
Appareillage		A	A	B	C	C	D	E	E
Membrane		c	b	b	c	e	e	d	d
Surface de membrane (en dm²)		0,39	0,39	1,44	1,16	1,16	56	420	420
Pression d'utilisation (en bars)		5	5	5	5	5	3	3	3
Température (en °C)		48	45	50	50	50	50	50	50
Durée (en h et mn)		7.15	8.10	12.25	6.35	10.36	10.10	7.00	7.45
Quantité de lait traité	par essai (en kg)	0,4	0,4	2,0	5,0	5,0	78,4	250,0	276,5
	en kg/j/m²*	339,5	307,7	266,7	1591,5	985,2	331,0	204,0	203,9

* kg/j/m² : en kg de lait traité par jour et par m² de membrane.

TABLEAU 5. — Composition des produits obtenus lors du traitement du lait par ultrafiltration à température voisine de 50° C

	Numéro des essais	51	52	53	54	55	56	57	58
Lait	E.S.T.*	9,04	8,95	9,18	9,37	9,73	8,68	8,62	9,03
	M.A.T.*	3,24	3,22	3,28	3,43	3,79	3,26	3,22	3,30
	Cendres*	0,70	—	—	—	—	—	—	—
Rétentat	E.S.T.*	23,65	25,41	26,43	25,00	25,52	23,26	28,19	23,95
	Facteur de concentration* pour E.S.T.	2,6	2,8	2,9	2,7	2,6	2,7	3,3	2,7
	M.A.T.*	16,11	18,20	18,63	17,58	18,33	16,32	21,19	17,30
	Facteur de concentration** pour M.A.T.	5,0	5,7	5,7	5,1	4,8	5,0	6,6	5,2
Ultrafiltrat	E.S.T.*	5,46	5,59	5,67	5,74	5,64	—	5,60	5,54
	M.A.T.*	0,15	0,16	0,18	0,19	0,29	—	0,20	0,20
	N.P.N. $\times$ 6,38	0,14	0,14	0,15	0,13	0,19	—	—	—
	Cendres	0,43	—	—	—	—	—	—	—

* Tous ces résultats concernent les teneurs en E.S.T., M.A.T., cendres et sont donnés en g d'E.S.T., M.A.T. ou cendres pour 100 g de lait, rétentat ou ultrafiltrat.

** Les facteurs de concentration sont des rapports entre teneurs : facteur de concentration pour E.S.T. = E.S.T. rétentat/E.S.T. lait et facteur de concentration pour M.A.T. = M.A.T. rétentat/M.A.T. lait.

TABLEAU 6

Variation de la composition du « rétentat » et de l'ultrafiltrat au cours d'un essai d'ultrafiltration du lait à basse température (1)

	Lait	Rétentat			Ultrafiltrat		
		R ₁ *	R ₂ *	R ₃ *	U ₁ **	U ₂ **	U ₃ **
E.S.T. (g p. 100)	9,06	9,73	11,23	23,24	4,90	5,19	5,70
Lactose (g p. 100)	4,56	4,55	4,66	4,05	3,87	4,26	4,64
M.A.T. (g p. 100)	3,21	3,92	5,07	15,81	—	—	—
N.P.N. × 6,38 (g p. 100)	0,13	0,14	0,13	0,15	—	—	—

* 1°, 2° et 3° fraction de « rétentat ».

** 1°, 2° et 3° fraction d'ultrafiltrat.

(1) Appareillage C - Membrane b.

Température 2° C - Durée 31 h 45.

TABLEAU 7. — Proportion des matières azotées totales et de la substance sèche totale du lait retenues dans le « rétentat »

Numéro des essais	1	2	3	4	5	7	8	Moyenne
<u>M.A.T. rétentat $\times 100$</u>	96	95	96	95	95	95	96	95
M.A.T. lait mis en œuvre								
<u>E.S.T. rétentat $\times 100$</u>	53	53	49	51	50	49	51	51
E.S.T. lait mis en œuvre								
Numéro des essais	51	52	53	54	55	57	58	Moyenne
<u>M.A.T. rétentat $\times 100$</u>	96	96	95	95	94	95	95	95
M.A.T. lait mis en œuvre								
<u>E.S.T. rétentat $\times 100$</u>	50	48	48	50	51	48	51	50
E.S.T. lait mis en œuvre								

La composition des produits obtenus à 50° C est à peu de chose près identique à celle des produits obtenus à basse température. La seule différence porte sur la quantité de matières azotées présente dans l'ultrafiltrat. Celle-ci augmente légèrement (et d'ailleurs d'une manière différente selon le type de membrane mis en œuvre), en raison du passage au travers de la membrane, en fin d'ultrafiltration, de matières azotées de nature protéique (fig. 5). Toutefois, la quantité de ces substances passant ainsi dans l'ultrafiltrat ne représente, avec les membranes convenables, qu'une faible proportion des matières azotées totales du lait (moins de 1 p. 100 avec les membranes c et d dont les propriétés filtrantes ne sont pratiquement pas modifiées par un maintien prolongé à 50° C).

La variation de la teneur en substance sèche de l'ultrafiltrat est comparable à celle observée à basse température.

2) Transformation en fromage du « rétentat »

Le tableau 7 indique, pour les différents essais, les proportions de substance sèche et de substance azotée contenues dans le lait mis en œuvre qui restent dans le « rétentat ».

Pour la substance sèche, on trouve en moyenne 51 p. 100 à basse température et 50 p. 100 à température voisine de 50° C ; pour les substances azotées cette proportion est, bien entendu, plus élevée

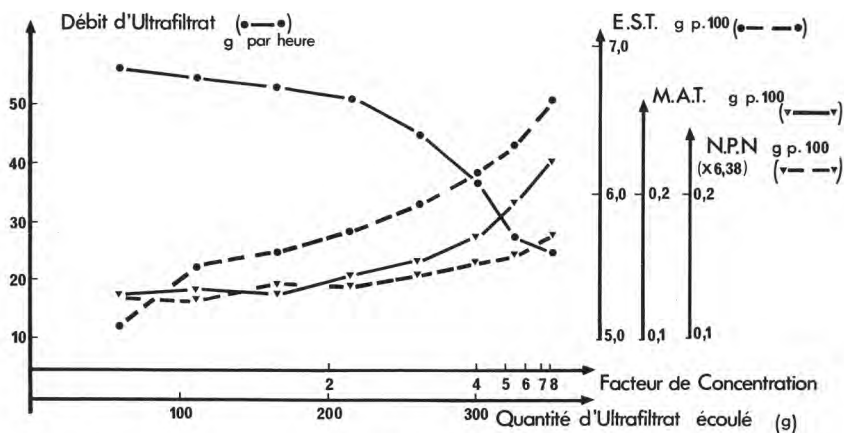


figure 5

Variation de la composition de l'ultrafiltrat au cours d'un essai d'ultrafiltration du lait à 50° C.

Appareillage A - Membrane b.

E.S.T. Teneur en substance sèche totale de l'ultrafiltrat.

M.A.T. Teneur en matières azotées totales de l'ultrafiltrat.

N.P.N. Teneur en azote non-protéique de l'ultrafiltrat.

Facteur de concentration = rapport du poids de lait initial au poids de rétentat.

(95 p. 100) puisque ce sont uniquement (à 2° C) ou presque uniquement (à 50° C) les substances azotées non-protéiques du lait (représentant environ 5 p. 100 des substances azotées totales du lait) qui passent dans l'ultrafiltrat. Il faut d'ailleurs noter qu'une certaine quantité de ces mêmes substances azotées non-protéiques restent dans le « rétentat », cette quantité étant proportionnelle à la teneur en eau dudit « rétentat ».

La quantité de lactosérum qui s'égoutte du « pré-fromage » après la coagulation est relativement faible : elle représente en poids environ 8 p. 100 du pré-fromage. On sait que la quantité de lactosérum qui exsude et s'égoutte du lait coagulé dans les conditions habituelles est bien plus grande puisqu'elle représente, en poids, environ 85 p. 100 du lait coagulé. Ces deux chiffres, 8 et 85, illustrent bien l'une des différences principales qui séparent le nouveau procédé de la technique fromagère classique en ce qui concerne la synérèse et l'égouttage.

La teneur en substance sèche de ce lactosérum qui s'égoutte du « pré-fromage » (environ le double de celle d'un lactosérum classique) et sa teneur en substances azotées (6 fois celle d'un lactosérum classique) sont indiquées dans le tableau 8. La forte teneur en substances azotées est due aux protéines solubles qui ont été concentrées dans le pré-fromage au cours de l'ultrafiltration et aux substances azotées détachées de la caséine par la présure. La teneur en matière grasse est identique à celle d'un lactosérum classique de fromagerie de pâte molle (Maubois, 1964).

TABLEAU 8. — Composition de quelques lactosérum d'égouttage

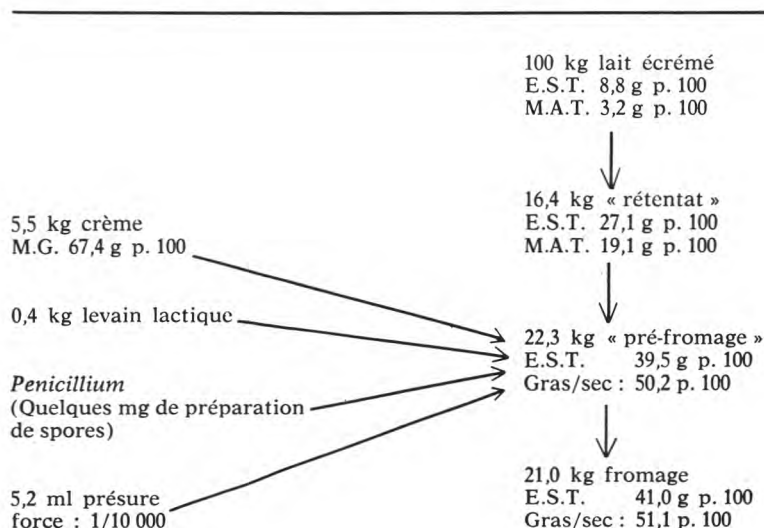
Date essai	E.S.T.*	M.A.T.*	M.G.*
22 juillet 70	10,87	4,80	—
4 août 70	12,96	5,46	—
4 août 70	11,64	4,82	0,11
4 août 70	12,87	5,45	—
4 août 70	11,80	4,90	0,11
Moyenne	12,02	5,09	0,11

* En g de E.S.T., M.A.T., M.G. pour 100 g de lactosérum.

Etant donné que la totalité du « lactosérum d'égouttage » représente environ 8 p. 100 en poids du pré-fromage et que ce lactosérum possède en moyenne une teneur en M.A.T. de 5 g p. 100 g de lactosérum, les quantités de substances azotées qui s'égouttent ainsi du pré-fromage correspondent à environ 2 p. 100 des substances azotées totales du lait écrémé mis en œuvre. On observe donc finalement que 93 p. 100 (95 p. 100 — 2 p. 100) des substances azotées du lait écrémé se retrouvent dans le fromage. Ce chiffre de 93 p. 100 doit être comparé avec le chiffre de 77 p. 100 (Maubois, 1964) représentant la proportion de ces mêmes matières azotées qui passent du lait dans le fromage lors de la fabrication classique des fromages à pâte molle. Le gain apparaît donc très appréciable. Quant à la substance sèche non-grasse qui s'égoutte ainsi du « pré-fromage » elle représente environ 4 p. 100 de la substance sèche du lait écrémé mis en œuvre. On retrouve donc dans les fromages obtenus selon notre procédé 47 p. 100 (51 p. 100 — 4 p. 100) de la substance sèche du lait écrémé mis en œuvre. Ce chiffre de 47 p. 100 doit être comparé avec celui de 39 p. 100 (Vandeweghe et Maubois, 1968) obtenu pour les fromages du même type et ayant la même teneur en eau. Le gain sur la substance sèche non-grasse apparaît donc également comme appréciable.

TABLEAU 9

Transformation du lait en fromage selon le procédé employant l'ultrafiltration préalable du lait (essai du 31 août 1971)



Dans le tableau 9, nous avons résumé sous forme de diagramme les différentes étapes qui conduisent, au cours d'un seul et même essai, du lait écrémé au fromage obtenu selon le procédé décrit ci-dessus. Les quantités de « rétentat », de crème, de levain lactique, de présure ayant conduit dans ce cas particulier à l'obtention du « pré-fromage » puis à celle du fromage s'y trouvent indiquées.

La lecture du tableau 9 permet de constater que lors de cet essai 5,2 ml de présure commerciale de force 1/10 000 ont été utilisés pour la coagulation de 19 kg de « pré-fromage » provenant de 105,5 kg de lait de fabrication (100 kg de lait écrémé + 5,5 kg de crème). Pour coaguler l'équivalent de 100 kg de lait de fabrication, il faudra donc 5,0 ml de présure. Cette quantité ne représente que le 1/4 ou le 1/5 de la quantité habituellement employée (20 à 25 ml) avec les procédés traditionnels. Différents essais ont montré que cette quantité de présure pouvait encore être réduite et ne représenter que le 1/6 des quantités habituellement employées en fromagerie de pâte molle.

Le tableau 10 montre les résultats de plusieurs séries d'essais dans lesquels on a pesé les fromages 24 h après leur fabrication (c'est-à-dire 24 h après l'addition de présure au pré-fromage).

On a fait varier d'un essai à l'autre les quantités de pré-fromage distribuées dans les moules mais, à l'intérieur de chacun des essais, la quantité de pré-fromage est demeurée constante.

On voit que l'amplitude des variations de poids des fromages ne dépasse pas 3 g, l'écart type étant de 0,9 g et le coefficient de variation de 0,2 à 0,4 p. 100.

Avec les procédés classiques, les écarts de poids entre les fromages d'un même lot atteignent et dépassent souvent 30 g, l'écart type étant de 12 g et le coefficient de variation de 4 p. 100 (Nazart, 1967 ; Barbier, 1971).

Les qualités organoleptiques ont été déterminées en remettant aux experts des échantillons de fromages à pâte molle fabriqués selon le procédé d'ultrafiltration et d'autres échantillons de fromages fabriqués selon le procédé classique et provenant de plusieurs fromageries de pâte molle de l'Ouest de la France.

Les examens ont montré que les experts appréciaient également les deux catégories d'échantillons. Bien que des différences aient été observées entre certains lots, aucune différence systématique entre fromages classiques et fromages « d'ultrafiltration » n'a été mise en évidence.

3) Examens bactériologiques

L'opération d'ultrafiltration du lait sur membranes a été contrôlée sur le plan bactériologique dans l'une ou l'autre des deux zones de températures suivantes :

a) Aux températures de réfrigération, entre 2 et 6° C pendant des durées comprises entre 20 et 48 h.

TABLEAU 10. — Poids des fromages déterminé 24 h après l'addition de présure au pré-fromage

Date des essais	22 oct. 70	22 oct. 70	22 oct. 70	11 janv. 71	11 janv. 71	11 janv. 71	15 oct. 70	15 oct. 70
	350	344	350	368	367	367	343	356
	348	346	350	367	367	368	343	357
	349	345	350	368	367	368	345	358
	348	345	347	367	367	368	345	357
	350	344	349	368	368	368	346	360
	349	344	350	367	367	367	344	358
	350	344	352	367	368	368	343	358
	349	345	350	367	367	367	343	358
	349	344	351	368	368	368	344	358
	349	344	349	368	369	369	344	—
Moyenne	349,1	344,5	349,8	367,5	367,5	367,8	344,0	357,8
Variance	0,5	0,5	1,7	0,3	0,5	0,4	1,1	1,2
Ecart type	0,7	0,7	1,3	0,5	0,7	0,6	1,1	1,1
C.V. en p. 100	0,2	0,2	0,4	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3

TABLEAU 11. — Contrôle bactériologique des essais d'ultrafiltration du lait

Date essai	Durée en heures minutes	Température du lait (en °C)	Appareillage utilisé	Facteur de concentration (en poids)	Nombre de germes par gramme				F*	
					Lait écrémé		Rétentat			
					Flore totale × 10 ⁵	Coliformes × 10 ²	Flore totale × 10 ⁵	Coliformes × 10 ²	Flore totale	Coliformes
9 mars 70	28	2	A	6,0	2,9	14,0	40,9	760	× 2	× 9
3 mars 70	42	2	B	5,0	1,2	2,6	13,0	154	× 2	× 9
19 mars 70	23	2	C	6,0	7,9	12,4	227,5	1 610	× 5	× 20
26 mars 70	26	2	C	5,0	4,1	1,2	31,0	11,5	× 2	× 2
9 mars 71	29.45	3	D	4,7	24,0	65,0	160,0	160,0	× 1,4	× 0,5
20 avril 71	34.45	4	D	5,0	3,5	54,0	390,0	110,0	× 6,3	× 1,4
26 avril 71	48	4	D	5,0	5,1	0,6	27,0		× 1,1	
16 août 71	46	2	D	5,3	1,8	15,1	10,4	555,0	× 1	× 7
23 août 71	47	2	D	5,2	1,0	13,5	10,0	410,0	× 1,9	× 6
12 fév. 70	14	25	B	4,0	2,70	0,3	1 070,0	225 000	× 99	× 1,7 × 10 ⁵
9 fév. 70	24	30	B	5,0	3,70	3,4	17 450,0	3 595 000	× 943	× 2,1 × 10 ⁵
22 avril 70	8	50	A	6,0	11,00	1,7	30,6	absence	× 2	—
14 mai 70	10.30	50	C	6,0	360,00	98,0	136,0	absence	× 0,06	—
18 août 71	7	50	D	6,6	1,10	3,4	4,7	0,3	× 0,65	× 0,01
24 août 71	7.45	50	D	5,1	1,00	17,0	0,8	10,0	× 0,16	× 0,11
31 août 71	8	50	D	6,1	3,20	130,0	3,0	16,0	× 0,15	× 0,02
2 sept. 71	8.40	50	D	5,7	3,30	60,0	2,8	4,8	× 0,15	× 0,01

* F : facteur de multiplication bactérienne (cf. texte).

d) A une température voisine de 50° C, c'est-à-dire dans la zone où se déroule habituellement le travail en cuve lors de la fabrication des fromages à pâte cuite. La durée d'ultrafiltration (7 à 10 h) est cependant supérieure à celle du chauffage en fromagerie de pâte cuite (1 à 2 h).

Le tableau 11 indique les résultats obtenus. Dans l'interprétation des résultats, on doit tenir compte du fait qu'aucun microbe ne traverse la membrane. En effet l'ultrafiltrat, on l'a vérifié, est pratiquement stérile ou ne renferme que quelques rares germes introduits lors de contaminations postérieures à l'opération d'ultrafiltration. Par conséquent, toutes les bactéries présentes dans la quantité de lait mise en œuvre se retrouvent dans le « rétentat ». Si aucune multiplication ni destruction n'interviennent, le nombre de germes par gramme de « rétentat » est donc égal au nombre initial de germes par gramme de lait, multiplié par le facteur de concentration C (rapport du poids de lait au poids de « rétentat », cf. tab. 11). Compte tenu de ceci, on a calculé, dans le tableau, un facteur dit de « multiplication bactérienne », F, qui est le rapport du nombre de germes, N, par gramme de « rétentat » (tel qu'on l'obtient par numération directe sur milieu gélosé) au nombre de germes, n, (trouvé de la même façon dans le lait de départ), multiplié par le facteur de concentration, C.

$$F = \frac{N}{C \times n}$$

Une valeur de F égale à 1 permet de supposer qu'il n'y a ni destruction, ni multiplication bactérienne au cours de l'ultrafiltration, ou bien que les deux s'équilibrent ; une valeur supérieure à 1 indique que la multiplication l'emporte sur la destruction tandis qu'une valeur inférieure à 1 implique le phénomène inverse.

En ce qui concerne la zone des températures de réfrigération, les essais mentionnés dans le tableau 11 ont été choisis pour constituer un échantillon représentatif de l'ensemble de tous les essais effectués avec du lait cru. La valeur moyenne de F est de 2,5. On peut donc en conclure qu'il y a effectivement une multiplication microbienne dans les conditions opératoires décrites mais qu'elle est assez peu importante.

Dans les conditions des essais du tableau 11, aucune relation nette n'apparaît entre la valeur de F et celle d'autres paramètres tels que la température un peu plus haute ou un peu plus basse (entre 2 et 6° C) à laquelle a été refroidi le lait soumis à l'ultrafiltration, la durée plus ou moins longue de cette opération (entre 20 et 48 h) ou enfin le nombre de germes présents dans le lait destiné à l'ultrafiltration (flore totale de 100 000 à 2,4 millions de germes par ml, selon les essais).

Tout ce que l'on peut retenir est que, dans les conditions opératoires correspondant aux résultats du tableau 11, le lait cru n'est

pas, pendant l'ultrafiltration, le siège d'une multiplication microbienne très notable des germes de la flore totale.

Un certain nombre d'essais non mentionnés dans le tableau 11, ont été réalisés dans les mêmes conditions avec du lait pasteurisé ou thermisé. La valeur de F est encore plus faible que pour le lait cru.

Pour les essais conduits à 50° C avec du lait cru, la valeur de F concernant la flore totale est, dans 5 essais sur les 6 mentionnés au tableau 11, inférieure à l'unité (valeur moyenne de F pour les 6 essais : 0,5), ce qui implique une certaine diminution du nombre total de germes.

Le tableau 12 dans lequel on a indiqué le résultat de la numération des thermophiles montre que ce groupe, dont le nombre est faible dans le lait de départ, est en progression à la fin de l'ultrafiltration à 50° C. Il est donc vraisemblable que l'on se trouve en face de deux actions opposées : destruction d'une flore totale mésophile mais augmentation de la flore thermophile. Cette augmentation n'est cependant pas générale (essais du 31 août 71 et du 2 sept. 71) et, quand elle se produit, le nombre atteint ne dépasse pas (pour les durées expérimentées) celui de la flore totale mésophile.

TABLEAU 12

Evolution des flores totale et thermophile au cours des essais d'ultrafiltration à 50° C

Date de l'essai	Nombre de germes par gramme présents dans le			
	Lait		Rétentat	
	Flore totale × 10 ⁶	Termophile × 1	Flore totale × 10 ⁶	Termophile × 10 ³
22 avril 70	11,00	10	3 060	3 200
14 mai 70	360,00	6	13 600	4 500
18 août 71	1,10	25	4 700	93
21 août 71	1,00	0	800	96
31 août 71	3,20	6	300	< 0,1
2 sept. 71	3,30	2	280	< 0,1

A titre d'indication, on a également reproduit sur le tableau 11 les résultats des deux essais poursuivis à des températures de

25 et 30° C ; comme il fallait s'y attendre la multiplication microbienne est alors considérable : F atteint des valeurs voisines de 100 ou de 1 000 et la coagulation du lait ne tarde pas à s'ensuivre, arrêtant bien entendu toute possibilité d'ultrafiltration puisque le liquide coagulé ne circule plus dans les conditions normales au contact de la membrane.

En ce qui concerne les bactéries coliformes, la multiplication microbienne, est, dans le cas du lait cru aux températures de réfrigération, plus forte que pour la flore totale : la valeur moyenne de F est égale à 7. Par contre, dans les essais effectués à 50° C, le nombre de bactéries coliformes diminue très fortement et l'on ne trouve plus qu'un nombre de coliformes environ 50 fois moins grand que celui existant dans le lait de départ (la valeur moyenne de F est égale à 0,02). Dans deux des essais, les coliformes n'ont pas été décelés dans 1 g de rétentat bien qu'ils aient été présents en nombre assez élevé dans le lait d'origine.

4) Nettoyage et désinfection des appareillages

Le procédé devant conduire à l'obtention de produits destinés à la consommation humaine, nous nous sommes attachés à mettre au point des méthodes de nettoyage et de désinfection efficaces et compatibles avec la nature des matériaux employés dans la construction des modules d'ultrafiltration et n'affectant pas les propriétés filtrantes des membranes.

Diverses solutions de nettoyages ont été étudiées : solution de papaine, détergents du commerce, etc.

Les études menées en collaboration étroite avec la Société Rhône-Poulenc ont montré que des résultats satisfaisants étaient obtenus avec la méthode suivante :

- nettoyage acide (HNO_3 N/10 ou N/5),
- nettoyage avec une solution détergente classique (solution de Lindquist, 1953),
- désinfection avec une solution diluée de formol (solution de formol à 1 p. 100 dans l'eau).

Ce nettoyage, réalisé après chaque essai d'ultrafiltration a permis, à ce jour, 20 utilisations successives d'un même lot de membranes, sans que l'on ait constaté de multiplication bactérienne appréciable au niveau des « rétentats » finaux.

DISCUSSION

La caractéristique principale de ce procédé de fabrication du fromage basé sur l'ultrafiltration préalable du lait est de réduire considérablement l'égouttage.

1. Il en résulte une augmentation notable du « rendement » de la transformation du lait en fromage, du fait notamment de la rétention dans le fromage des protéines solubles.

Dans la technologie fromagère classique, ces protéines (environ 4,5 g par kg de lait) ne coagulent pas sous l'action de la présure et restent en solution dans le lactosérum. Comme ce dernier est évacué dans la proportion de 80 à 90 p. 100, les protéines du fromage proviennent essentiellement des caséines, c'est-à-dire des protéines qui, au contraire des précédentes, coagulent sous l'action de la présure. La petite quantité de protéines solubles qui demeurent dans le fromage classique correspond à la quantité de lactosérum retenue par ce fromage et cela n'équivaut qu'au 1/10 ou 1/5 environ de la quantité de protéines solubles contenues dans le lait initial.

Au contraire, avec le procédé d'ultrafiltration, les protéines solubles étant entièrement ou presque entièrement retenues dans le « rétentat » et donc ensuite dans le « pré-fromage », on observe que l'égouttage dudit pré-fromage est en pratique très faible comparé à celui du procédé classique. De ce fait, les protéines solubles, bien que non-coagulées par la présure, demeurent presque en totalité dans le fromage final.

Quant aux substances azotées (caséino-macropéptide, etc.) qui sont détachées de la caséine kappa par la présure lorsque la coagulation intervient, il est clair, qu'elles restent également dans le fromage, au lieu d'être éliminées avec le lactosérum comme cela se passe habituellement. Ceci représente environ 1 g de substances azotées retenues dans le fromage par kg de lait mis en œuvre.

Les résultats analytiques obtenus sur le lait, le « rétentat », l'ultrafiltrat, le « pré-fromage », le fromage et enfin sur le lactosérum d'égouttage confirment cette interprétation des phénomènes.

La proportion des substances azotées du lait qui restent dans le fromage est donc supérieure, comme cela a été indiqué au chapitre des résultats, à celle que l'on trouve habituellement en fromagerie classique.

On a déjà employé depuis un certain nombre d'années la réincorporation des protéines solubles au fromage : en chauffant le lactosérum au voisinage de l'ébullition, dans des conditions de pH convenable, on précipite une partie des protéines solubles et on peut les concentrer par décantation ou mieux par centrifugation (procédé Centriwhey [Genvrain, 1968]). Mais, par ce procédé, on ne récupère qu'une partie des protéines solubles du lait et d'autre part celles-ci sont modifiées par le chauffage qu'elles ont subi. L'expérience a montré qu'une introduction trop importante de ces protéines ainsi modifiées n'avait pas un bon effet sur les qualités organoleptiques (la texture notamment), du fromage. Dans le cas de l'ultrafiltration (à 2 ou même à 50° C), les protéines solubles ne subissent de modification appréciable et c'est selon toute vraisemblance à cette particularité très importante qu'il faut attribuer le fait que leur présence dans le fromage n'entraîne pas d'effet nuisible pour la bonne qualité de ce dernier sur le plan organoleptique.

En fromagerie de pâte molle le lactosérum contient une certaine quantité de matière grasse (0,1 p. 100 environ) représentant une « perte » de 3 à 4 p. 100 de la matière grasse mise en œuvre dans le lait de fabrication. Cette matière grasse pourrait être, en partie récupérée par écrémage. Mais la crème de sérum ne possède pas sur le plan organoleptique des qualités aussi appréciées que la crème de lait et l'opération d'écémage représente une dépense supplémentaire de sorte que souvent le lactosérum de fromage à pâte molle n'est pas écémé.

Dans le nouveau procédé l'addition de crème au « rétentat » (pour obtenir le « pré-fromage liquide ») et la coagulation (suivie d'un très faible égouttage) réduisent considérablement les pertes en matière grasse dans le lactosérum.

En ajustant convenablement la composition du « pré-fromage » (au point de vue des teneurs en matière sèche et matière grasse) on obtient ensuite un fromage renfermant les quantités exactes de substance sèche et de matière grasse requises par la réglementation. On réduit ainsi la « marge de sécurité » que le fabricant est obligé de prendre habituellement avec la technique classique et qui représente comme cela a été souligné dans l'introduction une « perte » liée à l'imprécision de ladite technique classique.

L'augmentation du rendement (résultant de l'incorporation des protéines solubles, et du caséino-maclopeptide et substances analogues), la suppression des « pertes » (en graisse et en substance sèche totale) constituent un des avantages les plus notables du procédé d'ultrafiltration appliqué à la fromagerie de pâte molle.

2. L'augmentation du rendement résultant de l'incorporation des protéines solubles et autres substances azotées a elle-même pour conséquence l'emploi dans le fromage, par litre de lait traité, d'une plus grande quantité de matière grasse, ce qui réduit d'autant la quantité de beurre à fabriquer par la fromagerie. Dans le contexte économique actuel, cette réduction paraît représenter un avantage.

L'augmentation de la quantité de matière grasse du lait utilisée en fromagerie peut avoir d'autres conséquences sur le plan de la sélection des animaux laitiers. En effet dans l'état actuel des choses, le lait, tel qu'il est produit par les femelles laitières, présente, dans de nombreux cas, et en particulier dans celui des fabrications de fromages à pâte molle un rapport graisse/protéines trop élevé pour les besoins de la fromagerie. Une modification de ce rapport par sélection du bétail ne paraît susceptible d'être obtenue qu'au prix d'efforts longs et coûteux. Lorsqu'on peut employer toutes les protéines du lait dans le fromage, on résout le problème dans une large mesure. On devra également tenir compte de ce meilleur équilibre « technologique » entre protéines et graisse en établissant le régime alimentaire des animaux laitiers.

3. La teneur un peu plus forte en lactose de l'ultrafiltrat en fin d'opération (tabl. 6) n'a pas entraîné, dans nos essais, d'inconvénient

décelable (notamment en ce qui concerne la qualité des fromages). De toute manière, cette teneur en lactose peut être aisément ajustée, si besoin est, en additionnant le lait, soit avant l'ultrafiltration, soit au cours de celle-ci, d'une quantité déterminée d'eau ; ceci a pu être vérifié au cours de plusieurs essais.

4. Le fait que la quantité de présure nécessaire à la coagulation du pré-fromage soit environ le 1/5 de celle nécessaire à la coagulation du lait indique que la dose de présure est fonction du volume ou du poids du lait ou de pré-fromage, mais qu'elle n'est que peu ou pas influencée par la quantité de caséine présente dans l'un ou l'autre de ces liquides. L'économie de 80 p. 100 réalisée sur la présure dans le cas du procédé décrit ci-dessus par rapport aux procédés classiques a pour résultat un abaissement des frais de transformation pour le fromager (la présure représente environ 0,2 p. 100 du prix de gros du fromage) et peut contribuer à une solution du problème que pose actuellement la pénurie mondiale de présure.

5. Nous avons également essayé d'ajouter au pré-fromage liquide, en même temps que la présure, divers enzymes protéolytiques (notamment la trypsine, la chymotrypsine, la papaïne) avec ou sans suppression de l'addition du levain lactique.

La solubilisation des protéines, correspondant à la maturation du fromage, intervient alors très rapidement (au bout de quelques heures), en particulier si l'on supprime le levain lactique et l'acidification. Mais les produits obtenus manquent, en général, d'attrait sur le plan des caractères organoleptiques (les goûts d'amertume, souvent très prononcés, sont la règle). Cependant ces essais sont actuellement poursuivis avec d'autres types d'enzymes et, en combinant judicieusement plusieurs types, on peut espérer parvenir à des résultats meilleurs.

Des quantités relativement faibles de ces enzymes suffisent grâce à la réduction considérable de l'égouttage qui, en fromagerie classique ferait disparaître, sans profit, dans le lactosérum 85 p. 100 environ des enzymes ajoutés. C'est là un avantage potentiel important du procédé.

6. Le nombre de m^3 nécessaires au logement d'un appareil d'ultrafiltration est inférieur à celui que nécessite la salle d'égouttage correspondante. Une économie sérieuse dans les investissements pour la construction de locaux est à prévoir dont on devra tenir compte lors de l'évaluation du coût de l'ultrafiltration.

7. Les opérations de caillage, de distribution de caillé dans les moules, de retournement des fromages, sans compter la manipulation d'une quantité importante de lactosérum acide, nécessitent une nombreuse main-d'œuvre. Avec le nouveau procédé, ces opérations sont supprimées. La conduite de l'ultrafiltration et la transformation du « pré-fromage » en fromage demanderont vraisemblablement dans une installation en vraie grandeur, une main-d'œuvre nettement

moins importante que celle nécessitée par les opérations sus-mentionnées. De plus les inconvénients d'insalubrité sont également éliminés.

8. En ce qui concerne la conduite de l'ultrafiltration, les performances exigées d'une installation de ce genre demandent l'examen d'assez nombreux paramètres qui réagissent les uns avec les autres : c'est ainsi qu'une étroite dépendance existe entre les performances d'une membrane, les caractéristiques hydrodynamiques de l'appareillage et la sécurité des opérations sur le plan bactériologique ou biochimique. La solution à retenir peut différer selon les divers facteurs d'optimisation qu'on se fixe (débit, facilité de nettoyage, qualité bactériologique du rétentat, etc.).

9. Les avantages résultant de la diminution de l'égouttage, de l'augmentation de « rendement », etc., peuvent être appréciables dans des fabrications fromagères autres que celles concernant les fromages à « pâtes molles ».

D'une manière générale, le procédé est applicable à tous les fromages dont la teneur en substance sèche est du même ordre que celle des fromages à pâte molle. On en citera quelques exemples :

a) Le « pré-fromage » peut servir de produit de base pour la fabrication des fromages dits à pâte fraîche, dont la teneur en substance sèche dégraissée est inférieure ou égale à celle des fromages à pâte molle.

Comme pour les fromages à pâte molle, le procédé permet d'ajouter les protéines solubles à la caséine sans avoir recours à des chauffages drastiques du lait qui présentent l'inconvénient de modifier lesdites protéines. D'autre part, l'égouttage peut être considérablement réduit, sinon supprimé, et on évite ainsi la production et la manipulation de grosses quantités de lactosérum acide avec les inconvénients que cela présente à divers points de vue (corrosion, difficulté d'épuration, etc.).

Les essais déjà effectués montrent, d'autre part, que les qualités organoleptiques des produits obtenus sont comparables à celles des fromages à pâte fraîche classiques.

b) L'ultrafiltration et la préparation du pré-fromage ont été appliquées avec succès au lait de chèvre (tabl. 13). On sait que ce dernier contient proportionnellement moins de caséine mais davantage de protéines solubles que le lait de vache. On obtient de ce fait une augmentation du rendement en fromage (par comparaison avec le procédé classique) encore plus considérable que celle obtenue avec le lait de vache. Les essais en cours ont pour but d'ajuster la préparation de manière à obtenir des fromages de chèvre présentant des qualités organoleptiques optimales.

c) Par contre la solution est certainement bien plus difficile à trouver pour les fromages dont la teneur en substance sèche est

supérieure à celles des fromages à pâte molle ; en effet l'ultrafiltration, au-delà d'un facteur de concentration en M.A.T. de l'ordre de 6,5, pose de nouveaux problèmes et il en est de même pour les opérations ultérieures qui interviennent dans la technologie normale des fromages à pâte pressée ou cuite.

Toutefois l'exploration déjà faite dans certaines directions permet de penser que le procédé d'ultrafiltration pourra également rendre des services dans ce domaine.

10. Réduction de la pollution : l'ultrafiltrat, nouveau « lactosérum » dépourvu de protéines solubles, présente par rapport au lactosérum habituel les avantages :

— d'avoir un pH de 6,5 donc de ne pas être acide ; or, l'acidité du lactosérum classique pose habituellement des problèmes, soit au niveau de l'utilisation pour la préparation de divers sous-produits, soit au niveau de la corrosion, soit au niveau de l'épuration. Ce nouveau « lactosérum » devrait donc être, dans l'ensemble, plus facile à utiliser et à valoriser. De toute façon, il représente une source potentielle de pollution moins grande que le lactosérum normal : la demande biologique en oxygène est en effet réduite de 20 p. 100 du fait que ce « lactosérum » ne contient plus de protéines solubles (Horton et *al.*, 1970).

TABLEAU 13

Caractéristiques et résultats d'essais de traitement du lait de chèvre par ultrafiltration

Date des essais		1 ^{er} avril 70	3 avril 70	19 juil. 71
— Appareillage		C	C	C
— Membrane		b	c	c
— Surface de membrane en dm ²		1,16	1,16	1,16
— Pression d'utilisation en bars		3,5	3,5	—
— Température en °C		2° C	50° C	50° C
— Durée en heures-minutes		30	5	18
— Quantité de lait traitée : par essai (en kg)		6,0	3,76	10,0
	en kg/j/m ²	413,8	1555,9	1149,4
Lait	E.S.T. en g p. 100 g	8,38	8,38	8,72
	M.A.T. en g p. 100 g	3,27	3,27	2,95
	N.P.N. (N × 6,38) en g p. 100 g	0,44	0,44	0,43
	Caséine (p. 100 M.A.T.)	73,7	73,7	—
Rétentat	E.S.T. en g p. 100 g	27,51	23,01	31,88
	M.A.T. en g p. 100 g	19,23	15,35	17,55
Ultrafiltrat	E.S.T. en g p. 100 g	5,9	5,94	4,64
	N.P.N. (N × 6,38) en g p. 100 g	0,3	0,3	0,28

11. L'aspect bactériologique est, bien entendu, de première importance pour le procédé envisagé, comme c'est toujours le cas avec le lait et l'industrie laitière.

On a vu que les bactéries du lait, puisqu'elles ne traversent pas la membrane, se trouvent toutes concentrées dans le « rétentat ». Ce fait peut être jugé de prime abord comme défavorable car la flore microbienne naturelle du lait cru n'offre pas toujours une composition optimale.

Toutefois, on doit se rappeler qu'il en est de même lors de la fabrication classique du fromage : pratiquement en effet, 9/10 des bactéries présentes dans le lait passent dans le fromage dont le poids représente 1 à 2/10 seulement du poids du lait, comme c'est le cas pour le « rétentat ». Dans le lactosérum de fromagerie on trouve seulement environ 1/10 des bactéries du lait. La situation du « rétentat » et du « pré-fromage » d'une part, celle du fromage classique d'autre part, sont donc, à cet égard, très comparables.

La multiplication microbienne de la flore totale mésophile au cours de l'ultrafiltration est peu importante aux températures de réfrigération. Il est probable qu'elle pourrait être encore diminuée si l'on parvenait à éviter le réchauffement qui s'est produit en plusieurs occasions, à la fin de l'ultrafiltration, compte tenu des installations et appareillages dont on a disposé au cours des essais.

En ce qui concerne l'ultrafiltration à 50° C, elle offre, sur le plan bactériologique, une solution possible à condition de limiter à un minimum le développement de la flore thermophile, ce qui paraît réalisable en pratique (par exemple en réduisant la durée du maintien à 50° C). En outre l'expérience plus que séculaire acquise en fromagerie de pâte cuite dans la même zone de température apporte des éléments d'information et de sécurité précieux. Le fait que les bactéries coliformes soient en grande partie détruites à cette température (de 50° C) et pendant les durées de maintien expérimentées, représente un avantage éventuel appréciable.

Quant à la multiplication de ces mêmes germes coliformes aux températures de réfrigération (multiplication un peu plus marquée que pour la flore totale), c'est un inconvénient que l'on doit s'efforcer de réduire en raccourcissant la durée d'ultrafiltration ou en terminant à 50° C l'opération d'abord conduite à 2 ou 4° C.

Enfin une « thermisation » ou une pasteurisation préalable du lait peut encore améliorer la sécurité des opérations sur le plan bactériologique. Comme dans bien d'autres fabrications fromagères, cet avantage est à mettre en balance avec une éventuelle baisse de qualité du fromage mûr sur le plan de l'arôme et d'autres caractères organoleptiques.

L'ensemble de ces observations conduit à penser que l'on doit contrôler de près la qualité bactériologique du lait et des produits obtenus par l'ultrafiltration ainsi que les facteurs (températures,

durées, etc.) susceptibles d'influer sur cette qualité en bien ou en mal. Mais ce contrôle étant correctement assuré, l'opération d'ultrafiltration ne pose pas sur le plan bactériologique de difficultés majeures.

12. Dans une direction un peu différente, quelques essais ont été effectués afin de voir s'il était ou non possible d'inoculer le levain de bactéries lactiques dans le « rétentat » pendant la dernière phase de l'ultrafiltration. L'objectif poursuivi était :

a) de mettre à profit une partie du temps nécessaire à l'ultrafiltration pour obtenir un début de croissance des bactéries lactiques dans le « rétentat » et ensuite (l'ultrafiltration une fois terminée et la présure ajoutée au pré-fromage), une fermentation lactique plus rapide,

b) d'assurer une fermentation lactique du « rétentat » et de réduire ainsi les chances de développement d'une flore non-lactique indésirable.

Les résultats obtenus montrent que l'on peut effectivement appliquer ce procédé ; il faut seulement prendre soin de déterminer avec précision les divers paramètres (stade de l'inoculation et nombre de bactéries lactiques inoculées, durée et température de la phase d'ultrafiltration postérieure à l'inoculation).

Dans la plupart des essais, le levain lactique a été ajouté au pré-fromage liquide, une fois l'ultrafiltration terminée. Le développement de ce levain a toujours été très régulier (qu'il s'agisse de levain classique sur lait ou de levain concentré congelé). Bien que des essais systématiques n'aient pas encore été faits sur ce point, on peut supposer que les risques de développement des bactériophages au stade de la fabrication seront réduits par rapport au procédé habituel de fromagerie de pâte molle : moindre surface de lait exposé à l'air, coagulation rapide. Des essais effectués par Chevalier et Humilier (1970) montrent toutefois que le bactériophage, inoculé artificiellement, est capable de se développer dans le pré-fromage liquide.

13. La qualité des fromages obtenus, tant sur le plan de l'hygiène et de la santé que sur celui des caractères organoleptiques est bien entendu d'importance primordiale.

En ce qui concerne le premier aspect, les caractéristiques des membranes, notamment leur composition chimique, de même que celle des matériaux constituant les appareillages, doivent être telles qu'aucun inconvénient ne puisse en résulter pour le lait et le fromage en ce qui concerne l'innocuité de ces derniers produits pour le consommateur. Un certain nombre de données existent déjà à ce sujet ; il conviendra de les compléter là où ce sera reconnu nécessaire. De même les questions d'ordre bactériologique examinées aux paragraphes précédents doivent être résolues d'une manière qui donne satisfaction aux hygiénistes.

14. Quant aux caractères organoleptiques, les résultats mentionnés représentent une indication nettement favorable. Mais on sait que la qualité gustative d'un fromage est la somme d'un nombre considérable de facteurs d'une grande diversité ; tel facteur est lié par exemple au régime alimentaire de la vache, tel autre à l'hygrométrie des hâloirs de maturation. Entre ces deux extrémités de la chaîne, bien d'autres facteurs exercent leur action (au niveau biochimique, bactériologique, etc.) ; la plupart sont en outre susceptibles d'interférer les uns avec les autres.

Un nouveau procédé technologique, tel que celui basé sur l'ultrafiltration, entraîne une variation de certains de ces facteurs. S'il est relativement facile de mettre en évidence un effet nettement défavorable que pourrait exercer toute nouvelle technique sur la qualité du fromage (et dans le cas de l'ultrafiltration un tel risque paraît déjà écarté), il faut beaucoup plus de temps et il faut aussi de nombreux essais et comparaisons pour être en mesure de dire si tel ou tel nouveau procédé permet, ou non, de parvenir à un niveau de qualité vraiment supérieure du fromage.

Cependant ce niveau de qualité supérieure demeure l'objectif indispensable de n'importe quel procédé de fromagerie digne de ce nom. Car, en tant que produit alimentaire, le fromage n'a guère, à notre avis, de raison d'exister s'il ne possède pas sur le plan des caractères organoleptiques cette qualité supérieure qui, seule, lui confère son véritable attrait vis-à-vis du consommateur. Une expérimentation suffisamment longue, à une échelle convenable sur le plan des quantités de lait traitées, est seule capable d'apporter une réponse complète à cette question.

Remerciements

Nous tenons à exprimer nos remerciements et notre gratitude à tous ceux qui, tant au sein du Département de Technologie animale de l'Institut National de la Recherche Agronomique qu'au sein des Sociétés Bridel et Rhône-Poulenc nous ont aidés et soutenus de leurs conseils au cours de ce travail. Sur un point plus particulier, nous souhaitons aussi remercier MM. Auclair, Barbier, Bourat, Ribadeau-Dumas, Seibold et Vassal des suggestions très utiles qu'ils ont bien voulu nous faire lors de la rédaction du manuscrit.

Résumé

En soumettant du lait écrémé pendant une durée et à une température convenable (soit 2 à 4° C pendant moins de 48 h) à l'ultrafiltration sur membranes, on obtient un produit (le « rétentat ») contenant cinq à six fois plus de protéines que le lait de départ.

En ajoutant à ce produit une quantité de crème à haute teneur en matière grasse, on obtient un « pré-fromage » qui possède la

composition d'un fromage à pâte molle en fin d'égouttage tout en restant liquide.

Une faible addition de présure, environ 1/5 de la dose habituellement nécessaire pour la même quantité de fromage, suffit pour obtenir la coagulation.

Le fromage, après affinage, possède des qualités organoleptiques comparables à celles de fromages témoins préparés selon le procédé classique.

L'augmentation de rendement du lait en fromage, notamment du fait de la rétention des protéines solubles, la réduction des pertes (en graisse, en substance sèche) par rapport aux procédés classiques ainsi que d'autres avantages sur le plan de la technologie (notamment en ce qui concerne la régularité du poids des fromages), des locaux de fromagerie, de la main-d'œuvre, de la réduction de la pollution par les effluents, représentent des arguments sérieux en faveur du procédé. Ces arguments font l'objet d'une discussion.

Les caractéristiques des produits sur le plan bactériologique ont été étudiées, ainsi que les procédés de nettoyage des appareils.

L'extension du procédé à d'autres fabrications de fromage, notamment à ceux dont la teneur en substance sèche est comparable à celle des fromages à pâte molle, paraît possible.

Summary

Ultrafiltration on membranes applied to skim milk with suitable time temperature combinations gives a product which contains five or six times more protein than the milk itself (Tables 3 and 5) and which remains nevertheless in the liquid state.

After adding cream (with a high fat content) to this product, a « pre-cheese » is obtained which remains liquid and has the same gross composition as a soft cheese (Table 9).

After adding a lactic starter, a small amount of rennet (about 1/5 of the amount which would be required in normal cheesemaking for the same quantity of cheese) is sufficient to clot this « pre-cheese » (Table 9).

After ripening, the organoleptic qualities of the cheese thus obtained have been found equivalent to those of the cheese prepared according to the usual procedure.

The increase in yield (due among other things to the retention of the milk soluble proteins in the « retentate » during the ultrafiltration process (Table 7) and subsequently into the cheese), the smaller fat and dry matter losses than in the usual cheesemaking procedure, other technological advantages such as subsequent improvements in the design of factory buildings, less hand work, reduced scattering in the weights from one cheese to another (Table 10) less

pollution by the whey are in favour of the new process and are discussed.

Bacteriological quality of the product during the various steps of the process have also been studied (Tables 11 and 12) as well as the method for cleaning and disinfection.

The process can be used for various types of cheese such as fresh unripened soft cheese provided their moisture content is about the same as the ripened soft cheese moisture content.

Reçu pour publication en septembre 1971.

Références bibliographiques

- ALPMA. — Document technique.
- A.O.A.C. Standards (1945), p. 559.
- BARBIER (J. P.) (1971). — Communication personnelle.
- BLATT (W. F.), DRAVID (A.), MICHAELS (A. S.) et NELSON (L.) (1970). — Solute polarization and Cake formation in Membrane Ultrafiltration : Causes, consequences and Control Techniques - in Membrane Science and Technology. Ed. J. E. Flinn. Plenum Presse, New-York.
- BRIDEL S.A. (Laiteries) (1966). — Brevet français n° 1 490 701.
- CHEVALIER (R.) et HUMILIER (M. C.) (1970). — Résultats non publiés.
- Mc DERMOTT (J.) (1970). — Desalinization by Reverse Osmosis. *Noyes Data Co, Park Ridge, New-Jersey*.
- D.G.R.S.T. (1967). — Colloque sur les membranes à perméabilité sélective. Ed. C.N.R.S., Paris.
- Mc DONOUGH (F. E.) (1968). — Whey concentration by reverse osmosis. *Food Eng.*, 3, 124-127.
- Mc DONOUGH (F. E.) and MATTINGLY (W. A.) (1970). — Pilot plant concentration of Cheese whey by reverse osmosis. *Food Techn.*, 24, 88-91.
- FALICK (G. F.) (1969). — Industrial ultrafiltration. *Process Biochem.*, sept., 29-34.
- FENTON-MAY (R. I.), HILL Jr (C. G.) and AMUNDSON (C. H.) (1971). — Use of ultrafiltration/reverse osmosis systems for the concentration and fractionation of whey. *J. Food Sc.*, 36, 14-21.
- DE FILIPPI (R. P.) and GOLDSMITH (R. L.) (1970). — Application and Theory of Membrane Processes for biological and other Macromolecular Solutions - in Membrane Science and Technology. Ed. J.E. Flinn-Plenum Press, New-York.
- GENVRAIN, S.A. (1968). — Brevets français n°s 1 536 183 - 1 555 757.
- GUTTERMANN (1966). — Brevet allemand n° 1 053 908.
- HENDERSON (L. W.), BESARAB (A.), MICHAELS (A. S.) and BLUEMBLE (L. W.) (1967). — Blood Purification by Ultrafiltration and Fluid Replacement. *Trans. Am. Soc. Artificial Internal Organs*, 13, 216.
- HORTON (B. S.), GOLDSMITH (R. L.), SOHRAB HOSSAIN and HALL (R. Z.) (1970). — Membrane separation processes for the abatement of pollution from cottage cheese whey. *Milk Ind.*, 67, 24-29.
- Etablissements HUGONNET S.A. (1966). — Brevet français n° 1 012 266.
- LINDQUIST (B.) (1953). — XVII^e Congrès Inter. Lait., *La Haye*, 3, 887.

- LONSDALE (H. K.), MERTEN (U.) and RILEY (R. L.) (1965). — Transport Properties of cellulose acetate osmotic Membranes. *J. Applied Polymer Sc.*, 9, 1341-1362.
 - LOWE (E.), DURKEE (E. L.), MERSON (R. L.), IJICHI (K.) and CIMINO (S. L.) (1969). — Egg white concentrated by reverse osmosis. *Food Techn.*, 23, 45-64.
 - MADSEN (R. F.) (1971). — Ultrafiltrierung und umgekehrte Osmose. *Die Milchw.*, 22, 727-730.
 - MARSHALL (P. G.), DUNKLEY (W. L.) and LOWE (E.) (1968). — Fractionation and concentration of whey by reverse osmosis. *Food Techn.*, 22, 969-973.
 - MAUBOIS (J. L.) (1964). — Résultats non publiés.
 - MAUBOIS (J. L.), MOCQUOT (G.) et VASSAL (L.) (1969). — Institut National de la Recherche Agronomique. Brevet français n° 2 052 121.
 - MERSON (R. L.) and MORGAN Jr (A. I.) (1968). — Juice concentration by reverse osmosis. *Food Techn.*, 22, 97-100.
 - MICHAELS (A. S.) and BIXLER (H. J.) (1968). — Membrane permeation. Theory and Practice. In progress in Separation and Purification, vol. I, p. 143-186, Ed. E. S. Perry, Interscience Publishers, New-York.
 - MICHAELS (A. S.) (1968). — Ultrafiltration. In Progress in Separation and Purification, vol. I, p. 297-334, Ed. E. S. Perry, Interscience Publishers, New-York.
 - THE MILK MARKETING BOARD (1969). — Brevet français n° 2 022 545.
 - NAZART (J.) (1967). — Communication personnelle.
 - NIELSEN (I. K.), OLSEN (O. J.), NIELSEN (W. K.) and MADSEN (R. F.) (1970). — Concentration and separation of dairy products with D.D.S. ultrafiltration - reverse osmosis system. *Scand. Galaxy*, 4, 35-38.
 - PERI (C.) and DUNKLEY (W. L.) (1971). — Reverse osmosis of cottage cheese whey. 1. Influence of composition of the Feed. *J. Food Sc.*, 36, 25-30.
 - PERI (C.) and DUNKLEY (W. L.) (1971). — Reverse osmosis of cottage cheese whey. 2. Influence of flow conditions. *J. Food Sc.*, 36, 395-396.
 - PORTER (M. C.) and MICHAELS (A. S.) (1971). — Membrane ultrafiltration. *Chem. Techn.*, 248-254.
 - REMATOM (1965). — Brevet français n° 1 467 973.
 - S.E.F.F.A.C. (1962). — Brevet français n° 1 314 931.
 - STANDARD METHODS for the examination of Dairy Products (1967). Ed. Walter (W. G.). *Am. Public Health Ass. Inc.*, p. 69-70.
 - UBBELS (J.) and VAN DER LINDE (J. T.) (1962). — A machine for the automatic continuous Production of Edam Cheese. XVI^e Int. Dairy Congress, Copenhagen, Sect. VII, 185,192.
 - VANDEWEGHE (J.) et MAUBOIS (J. L.) (1968). — Contrat D.G.R.S.T. 61-01-012. Résultats non publiés.
 - WALDNER-ROINER. — Brevet allemand n° P 11 50 238 8 23.
 - WHITE (J. C. D.) and DAVIES (D. T.) (1958). — The relation between the chemical composition of milk and the stability of the caseinate complex. *J. Dairy Res.*, 25, 236.
 - WILLITS (C. O.), UNDERWOOD (J. C.) and MERTEN (U.) (1967). — Concentration by reverse osmosis of maple sap. *Food Techn.*, 21, 24-26.
-