SUPPLÉMENT TECHNIQUE

RECHERCHES NOUVELLES SUR L'UTILISATION DU SÉRUM

par

G. GÉNIN

Ingénieur E.P.C.I.

Si le sérum a été, pendant de longues années, un sous-produit de la fabrication des produits laitiers, dont le principal débouché était l'alimentation des animaux et en particulier des porcs, le sérum étant par exemple retourné par les petites fromageries locales aux fermiers qui les alimentaient en lait, la concentration des entreprises et la création de grandes unités industrielles, entreprenant par exemple la fabrication de la caséine, ont mis à la disposition de ces établissements, d'importantes quantités de sérum qui ne peuvent plus être retournées aux fermiers et dont le rejet pose de graves problèmes.

C'est la raison pour laquelle, de très nombreux travaux ont été entrepris sur l'utilisation et la revalorisation de ce sérum. Cette étude a pour objet de faire une analyse de quelques travaux entrepris au cours de ces dernières années dans les principaux pays producteurs de produits laitiers, complétant et reprenant les informations que nous avons déjà données (voir *Le Lait*, n° de juillet-août 1966, p. 421).

Fabrication de la poudre de sérum.

La fabrication de la poudre de sérum est un procédé intéressant d'utilisation de ce sous-produit, car elle fournit un composé susceptible de trouver diverses applications dans les industries alimentaires. Nous rappellerons quelques procédés que nous avons déjà signalés antérieurement, ainsi que d'autres, d'une apparition récente.

Un premier procédé de séchage utilisé aux Etats-Unis dans une fromagerie de Cheddar de l'Ohio a l'avantage de fournir un

produit non hygroscopique [1]. Il comporte les opérations successives suivantes :

- Préchauffage du sérum en deux étapes ;
- Concentration du liquide dans un évaporateur à double effet à film tombant, permettant d'élever sa teneur en extrait sec à plus de 50% ;
- Cristallisation partielle ;
- Séchage partiel de façon à abaisser la teneur en humidité à moins de 15 p. 100, l'opération s'effectuant dans un séchoir opérant par atomisation à basse température ;
- Séchage final dans un séchoir à tunnel rotatif, pour abaisser la teneur finale en humidité à 3 à 4 p. 100.

Le produit final se caractérise par sa facilité de dissolution, et il ne renferme qu'une très faible proportion de particules ayant subi un début de grillage.

Les fromageries Bel ont donné, dans deux brevets français, la description de procédés de séchage du sérum [2]. Dans le premier, on part de sérum ayant subi une condensation préalable, de façon à porter sa teneur en extrait sec à au moins 65 p. 100. Le produit est ensuite desséché, ce qui fournit une poudre de sérum contenant 95 p. 100 environ de constituants solides, et dans laquelle le lactose est présent, sous la forme d'alpha-lactose cristallisé monohydraté.

Le second brevet décrit un procédé de séchage de mélanges de sérum déjà fortement concentré et de poudre de produits laitiers. Ce mélange, qui doit avoir une teneur initiale en extrait sec d'au moins 85 p. 100, est émulsifié et homogénéisé avant d'être desséché à la température de 40-60° C, par extrusion sous la forme de fins spaghettis qui sont ensuite broyés en fins granules. On peut ajouter à la poudre obtenue divers condiments, des épices, des vitamines, etc.

La technique relativement nouvelle de séchage après moussage a également été appliquée au séchage du sérum de fromagerie et à East Lansing, aux Etats-Unis [3], on fabrique des sorbets de bonne qualité dans lesquels 24 à 94,5 p. 100 des constituants solides sont constitués de poudre préparée à partir de sérum provenant de la fabrication de fromage blanc.

Des études sur la fabrication et les propriétés des sérums de fromagerie desséchés par le même procédé ont également été entreprises aux Pays-Bas [4].

La fabrication de levure alimentaire à partir du sérum.

Cette question a été spécialement étudiée en Nouvelle-Zélande, où d'importantes fabriques de caséine ont cherché à utiliser le sérum qui constitue un sous-produit de leur industrie [5]. La composition de ce sérum peut varier, mais, par exemple, le sérum prove-

nant de la fabrication de la caséine lactique a la composition moyenne suivante :

Lactose	4,4 p. 100
Acide lactique	0,6 p. 100
Lactalbumine	0,5 p. 100
Matières azotées non protéiniques	0,4 p. 100
Matières minérales	0,8 p. 100
Total d'extrait sec :	6,7 p. 100

Lorsqu'on cherche à utiliser ce sérum, deux difficultés principales se présentent, d'une part la présence de 94 p. 100 d'eau qu'il faut éliminer pour que le produit obtenu se conserve convenablement, d'autre part la présence d'une forte proportion de lactose qui peut être utilisée dans quelques applications spéciales : aliments pour enfants et produits pharmaceutiques, mais qui se heurte à la concurrence de nombreux autres sucres plus économiques.

Il y a donc intérêt à transformer cet hydrate de carbone en produit de valeur et, si cette transformation peut être effectuée par des méthodes chimiques, il semble qu'il soit plus intéressant de faire appel à des procédés biologiques. L'emploi de microorganismes pour réaliser des transformations de ce genre n'est pas nouveau, il suffira par exemple de citer la fabrication de l'acide lactique à partir du sérum fourni par les fromageries ou les fabriques de caséine, la production d'alcool en brasserie, celle d'acide acétique en partant de mélasse, la préparation d'antibiotiques, celle de vinaigre en partant d'alcool. Dans toutes ces opérations, les microorganismes attaquent les constituants nutritifs qui leur sont offerts, et de nouveaux produits apparaissent, constituant des sous-produits de ce métabolisme.

Cependant, dans la fabrication des levures alimentaires, ce ne sont pas les sous-produits de métabolisme qui sont intéressants mais les cellules elles-mêmes de microorganismes qu'il faut recueillir et qui peuvent être utilisées comme aliment. Il faut donc rechercher les conditions provoquant la croissance maximale des organismes, en laissant le minimum de substances dans le milieu nutritif. Alors qu'en moyenne, dans une culture d'acide lactique, la proportion de cellules (en sec) ne représente que 0,1 p. 100, cette proportion peut s'élever à 2 et même 2,5 p. 100 si l'on opère dans des conditions favorables.

Recherche des conditions les plus favorables à la croissance des levures.

Les travaux entrepris au New Zealand Research Institute ont porté sur les différents facteurs susceptibles de favoriser la croissance des levures :

— Choix du type de levure. Les levures de brasserie ou de boulangerie ne conviennent pas car elles ne peuvent se nourrir de lactose. Par contre, *Saccharomyces fragilis* se développe d'une

façon satisfaisante dans un milieu à base de sérum et c'est le type de levure qui a été choisi par les spécialistes néo-zélandais.

— Température. Une température de 32° C est favorable à cet organisme dont la croissance est cependant plus rapide aux températures plus élevées et il peut être intéressant d'opérer aux températures les plus élevées possibles, pour que l'augmentation de la production permette de réduire l'importance des installations. Toutefois, l'opération s'accompagne d'un dégagement important de chaleur, d'où la nécessité de prévoir une installation de refroidissement. Si la température s'élève exagérément, les cellules risquent d'être endommagées, par contre plus élevée est la température à laquelle il est possible d'opérer, plus le refroidissement est facilité.

— Produits nutritifs. Le principal constituant du sérum est le lactose qui représente l'élément nutritif le plus important. Cependant les cellules de levure sont constituées pour 50 à 60 p. 100 de protéines, d'où la nécessité de prévoir une source d'azote pour que les molécules de protéines puissent se constituer. Les levures sont comme les plantes et peuvent trouver l'azote qui leur est nécessaire dans des composés simples comme le sulfate d'ammonium ou l'urée. Certains oligoéléments sont également nécessaires : phosphates, potassium et magnésium, et, pour chaque espèce de levure, il faut choisir les produits minéraux et les vitamines nécessaires.

— Aération. Les levures, plus encore que les microorganismes utilisés par exemple dans la préparation des antibiotiques et du vinaigre exigent de l'oxygène pour assurer leur croissance et, par exemple, dans une cuve de près de 50 m³ de capacité, il faut prévoir la circulation d'au moins 180 m³ d'air à la minute.

Or certaines difficultés importantes apparaissent lorsque le problème se pose de fournir l'oxygène nécessaire à la croissance des levures. Les cellules ne peuvent pas utiliser directement l'oxygène de l'air, il faut que cet oxygène soit en solution. Or, l'oxydation complète de 100 g de lactose exige théoriquement 37 g d'oxygène (26 litres). Autrement dit, si l'on part de 1 litre de sérum contenant 5 p. 100 de lactose, il faut dissoudre 13 l d'oxygène pour effectuer une oxydation complète. La solubilité de l'oxygène dans l'eau n'est que de 9 ppm et lorsque les levures croissent activement, cette quantité est utilisée en moins de 1 minute d'où la difficulté d'assurer l'oxygénation d'une culture en croissance vigoureuse.

On a proposé, depuis une cinquantaine d'années, de nombreux dispositifs ingénieux pour assurer l'aération. Malheureusement beaucoup sont compliqués et peu se sont révélés pratiques. Parmi les différents systèmes proposés, citons, dans la fabrication des levures de brasserie, l'emploi de tubes perforés ou de bougies poreuses introduisant de l'air au fond des cuves, l'utilisation d'agitateurs qui brassent vigoureusement le liquide et le mélangent à l'air introduit sous pression par un tuyau débouchant au fond de

la cuve, le propagateur Waldhof, constitué d'un agitateur placé au fond de la cuve et par l'intermédiaire duquel l'air pénètre par des orifices situés aux extrémités des pales de l'agitateur. Il se forme une mousse qui s'élève sur les bords du récipient et est réintroduite dans le liquide au centre de l'appareil, la mousse étant alors détruite par l'agitateur. De toute façon, les dépenses engagées pour assurer une aération convenable sont importantes et l'efficacité de l'opération doit être suivie de près dans toute exploitation commerciale.

— Concentration en sucre. Pour obtenir le rendement maximal à partir d'un milieu nutritif donné, il est nécessaire que la concentration en sucre du milieu soit la plus faible possible et le tableau suivant confirme ce fait.

<i>Concentration en sucre en p. 100</i>	<i>Rendement en levure en p. 100 du sucre utilisé</i>
5	19
0,2	41
0,0004	52

On doit donc s'efforcer d'introduire dans le milieu de culture le sérum à une vitesse telle que les éléments nutritifs soient consommés dès qu'ils pénètrent dans le milieu ; dans ces conditions, la teneur en sucre ne peut augmenter et la vitesse d'alimentation doit être réglée, à chaque instant, en fonction de la quantité de levure présente.

Installation industrielle de production de levure.

Voici quelques caractéristiques de l'installation que l'Institut néozélandais envisage de construire pour la fabrication de levures alimentaires en partant de sérum fourni par les fabriques de caséine. L'élément essentiel d'une telle installation est la cuve de propagation, dont la capacité peut atteindre 90 m³. Cette cuve doit être fermée et son contenu doit pouvoir être maintenu stérile ou plus exactement placé à l'abri de microorganismes étrangers. On peut envisager une production discontinue par lots successifs ou de préférence une installation fonctionnant d'une façon continue, disposant d'une pompe et d'un agitateur assurant l'aération convenable, l'ensemble permettant le traitement de près de 500 m³ de sérum par jour.

Des réservoirs sont prévus, contenant les divers éléments nutritifs et le sérum utilisé dans la fabrication, ces produits étant introduits dans la cuve au moyen de pompes doseuses. Au fur et à mesure de l'introduction de ces produits, on soutire la levure produite et le sérum épuisé, dont le mélange est dirigé dans un appareil centrifuge conçu spécialement pour cette opération. C'est un appareil à assiettes, analogue à une écrémeuse, comportant des

buses qui permettent de recueillir le produit le plus dense à la périphérie de l'appareil. La levure est recueillie sous la forme d'une crème épaisse qui est diluée par addition d'eau et centrifugée une seconde fois, afin de séparer le sérum résiduaire qui imprégnait la levure. On parvient ainsi à éliminer la majeure partie de l'eau par cette opération mécanique, plutôt que par évaporation. Finalement, la levure humide est séchée sur un séchoir à rouleaux ou par tout autre dispositif approprié, elle est moulue, puis tamisée.

Au cours de l'opération de propagation, un important dégagement de chaleur se produit et il faut prévoir un dispositif de refroidissement, consistant par exemple à faire circuler le liquide de la cuve dans un échangeur de chaleur. On indique que la quantité de chaleur à évacuer est de l'ordre de 2,8 millions de kg/cal par tonne de levure desséchée produite. Si donc, on utilise de l'eau de refroidissement à la température de 10° C quittant l'appareil à 32° C, cela représente une consommation d'eau de refroidissement de 114 m³ par tonne de produit fini.

Une installation complète doit également comporter un poste de préparation de la levure mère. Cette installation est constituée de 4 cuves de dimensions croissantes, dans lesquelles une culture pure de levure est amenée à l'état où elle peut servir de levain pour être introduite dans la cuve de propagation. L'opération peut demander plusieurs jours, mais, dans une installation saine et bien conduite, il ne sera nécessaire de préparer des cultures pures que trois ou quatre fois par an.

On a calculé qu'une telle installation permettrait de produire 2 kg de levure sèche pour 100 kg de sérum consommé. Les recherches sur l'installation prévue n'ont pas encore permis d'établir une estimation véritable du prix de revient du produit ; à titre indicatif, signalons qu'on estime qu'on devrait pouvoir obtenir de la levure simplement séchée sur rouleaux, au prix de 935 F la tonne, ce prix, qui dépend de l'importance de l'installation, correspond à un atelier pouvant traiter environ 500 m³ de sérum par jour.

Intérêt de la levure alimentaire.

A plusieurs reprises, on a tenté d'entreprendre la fabrication de levures alimentaires dans différentes parties du monde, en partant de diverses sources de matières premières telles que mélasse, ou eau résiduaire contenant des sucres et provenant par exemple de la fabrication de la pâte à papier. La levure alimentaire sèche contient entre 45 et 60 p. 100 de protéine de haute qualité et renferme également une certaine proportion de vitamine B. Les protéines présentes ont une faible teneur en méthionine, mais cette insuffisance pourrait être corrigée en recueillant à part la lactalbumine du sérum et en la séchant en mélange avec la levure. La levure sèche peut donc constituer un produit de remplacement des protéines et un produit d'enrichissement facile de divers aliments.

Elle présente une saveur qui peut ne pas être très agréable, mais, par un traitement approprié par des enzymes, il est possible de lui communiquer le goût de la viande, et les produits ainsi améliorés pourraient être utilisés dans la préparation de sauces. Enfin, la levure sèche est un aliment riche en protéines pour les volailles et les porcs.

Emploi du sérum dans l'industrie de la confiserie.

Le sérum de fromagerie peut être utilisé sous diverses formes par l'industrie de la confiserie et le tableau suivant donne en p. 100 la composition de différents produits dérivés du sérum, susceptibles d'être utilisés par cette industrie :

	Eau	Pro- téine	Graisse	Sucre de lait	Cendres	Acide lactique	pH	Sucrose
Sérum liquide :								
Coagulation du lait par la présure ...	93,2	0,8	0,6	4,7	0,5	0,2	6,1	
Sérum de fromage blanc	93,6	0,8	0,2	4,3	0,6	0,5	4,7	
Sérum desséché :								
Coagulation du lait par la présure ..	4,0	12,5	1,0	72,0	8,0	2,5	5,7	
Sérum de fromage blanc	3,5	12,9	0,3	67,0	8,5	7,8	4,4	
Sérum condensé sucré	24,0	5,3	0,6	28,6	3,5			38

En fait, le sérum liquide, par suite de sa teneur élevée en eau, n'est pas directement utilisé en confiserie, et le sérum condensé sucré, qui renferme une forte proportion de sucrose, peut être parfois économiquement remplacé par le sérum en poudre.

Le lactose, qui est le principal constituant du sérum est beaucoup moins soluble que le sucrose et peut être utilisé, pour cette raison, pour communiquer à certains types de caramels une structure cristalline ou granuleuse.

Si la teneur en lactose est inférieure à environ 3 p. 100 dans le produit final, son caractère cristallin est sans importance, mais, si cette teneur est comprise entre 5 et 10 p. 100 ou plus de lactose, il est nécessaire d'utiliser ce dernier, sous une forme cristallisée stable, et ce résultat est obtenu en effectuant une cristallisation dite forcée permettant l'obtention de petits cristaux uniformes conférant une stabilité permanente au produit, au cours de son magasinage.

Certains types de caramel à structure granuleuse, appelés Fudge aux Etats-Unis, et qui renferment une proportion élevée de lactose pour obtenir cette structure particulière, doivent être refroidis, après cuisson, à une température aussi basse que possible, sans exagérer, pour que la fluidité de la masse permette sa manutention. Après refroidissement, on ajoute une solution saturée de sucre contenant un grand nombre de minuscules cristaux de sucrose (solution appelée fondant), on mélange en battant et on laisse le produit prendre en masse. On peut, à la place du fondant, utiliser du lactose pourensemencer la masse et favoriser l'apparition de la structure granuleuse recherchée. Une autre solution consiste à employer une faible proportion de fondant au lactose, préparé en faisant cristalliser du lactose pur dans un sirop de sucre inverti.

Si une quantité importante de sucre de lait est utilisée dans la préparation des caramels ordinaires, la granulation du lactose peut être un phénomène indésirable et il faut la retarder pendant la conservation en magasin du produit. Ce résultat est obtenu en faisant subir aux constituants du sérum la totalité du traitement par la chaleur que subissent les ingrédients du caramel et il faut prendre soin d'éviter tout ensemencement du produit après sa coulée, ce qui pourrait provoquer la cristallisation du lactose.

Les protéines contenues dans le sérum sont des protéines solubles dans l'eau qui subsistent donc dans le sérum, après séparation de la caséine lors de la fabrication du fromage. Lorsqu'elles sont chauffées, ces protéines forment un coagulum floculant et tendre, beaucoup moins capable de conférer au mélange une certaine fermeté que la caséine. Ces protéines ont également des propriétés moussantes, bien supérieures à celles de la caséine. C'est la raison pour laquelle, lorsqu'on emploie un produit de concentration et de viscosité élevées, comme le sérum condensé sucré, on obtient facilement une mousse consistante et stable. Enfin les protéines du sérum ont une valeur nutritive supérieure à celle de la caséine.

Les derniers constituants qu'on trouve dans le sérum : les sels, exercent une influence importante sur la dispersion physique des protéines du lait, sans que cette propriété se retrouve dans les mélanges employés en confiserie. Les sels du lait, qui exercent une influence sensible sur le goût du lait, peuvent affecter également celui des bonbons. Ces produits ne sont pas employés comme tels, mais le confiseur doit tenir compte de leur présence.

Ayant ainsi passé rapidement en revue l'influence que peuvent exercer les divers constituants du sérum employés en confiserie, nous allons maintenant décrire, d'après les recherches entreprises dans les laboratoires des produits laitiers de l'Eastern Utilization Research and Development Division du ministère de l'Agriculture des Etats-Unis [6], les diverses formes sous lesquelles le sérum laitier peut être utilisé en confiserie.

Sérum condensé sucré.

Initialement, la fabrication du sérum condensé sucré a été entreprise afin de disposer d'un moyen simple et peu coûteux de conservation du sérum, en vue de son utilisation dans les industries alimentaires [7]. Le sérum condensé sucré est peut-être resté encore la source la plus souvent utilisée des constituants du lait, tout au moins lorsque le problème s'impose d'utiliser une matière première homogène et lisse, se mélangeant facilement et permettant d'introduire, dans différents mélanges, les caractéristiques du goût de certains constituants du lait.

Par ailleurs, la facilité avec laquelle il est possible de faire mousser le sérum condensé sucré exempt de graisses, présente de l'intérêt dans la fabrication de mélanges très aérés employés en confiserie. On notera que pour obtenir des résultats convenables, la totalité des graisses contenues dans le sérum liquide doit être éliminée avant concentration. A la température ordinaire, le produit concentré peut être fouetté, de façon à doubler son volume en 3 à 4 minutes. La mousse se conserve sans exsudation de liquide pendant plusieurs heures, mais ne fait pas prise sous l'action de la chaleur. Elle peut être utilisée pour introduire de l'air dans un mélange cuit et partiellement refroidi, ou dans un sirop servant à la fabrication de la confiserie. Le mélange obtenu, suffisamment rigide, emprisonne l'air et le maintient. Cependant, la stabilité de la mousse n'est pas suffisante pour permettre une conservation prolongée et il faut donc la protéger en la malaxant avec le reste du mélange servant à la fabrication du produit final. En cours de refroidissement, le tout se solidifie et protège la mousse avant que celle-ci ait été détruite.

Poudre de sérum.

La poudre de sérum présente, sur le sérum utilisé sous la forme liquide, même réduite, l'avantage d'être moins volumineux, d'être d'un emploi plus facile et de ne pas contenir d'eau qu'il faut ensuite éliminer lors de la cuisson des mélanges. La poudre de sérum est stable en magasin, à la température ordinaire, mais doit être cependant conservée à l'abri de l'humidité. Les poudres du commerce peuvent d'ailleurs différer considérablement au point de vue absorption de l'humidité. Si ce phénomène se produit, le lactose risque de cristalliser, ce qui provoque la mise en masse du produit et l'humidité peut également favoriser l'apparition d'une saveur défectueuse. On prépare donc la poudre de sérum, de façon à réduire ses propriétés hygroscopiques et le produit du commerce est habituellement livré dans des sacs doublés de polyéthylène et doit être conservé dans un endroit sec.

Le sérum de fromagerie conserve un certain goût associé à celui qui se développe pendant l'affinage du fromage. Le sérum

provenant de la fabrication du Cheddar, du Gruyère et d'autres types de fromage à pâte douce contient une proportion relativement faible d'acidité, qui s'est développée sous l'action du levain ajouté au lait, et le sérum séparé de la caillebotte a un pH d'environ 6,2. Pendant longtemps, la poudre de sérum fabriquée aux Etats-Unis a été obtenue à partir de sérum provenant de la coagulation du lait par la présure. Ce sérum était concentré, puis séché, de façon à abaisser sa teneur en humidité à 12 p. 100. La masse plastique obtenue était maintenue pendant une durée de 30 minutes dans cet état, de façon à permettre la cristallisation du lactose. A ce moment, on terminait le séchage du produit qui était broyé et on obtenait ainsi une poudre non hygroscopique, convenant parfaitement aux industries alimentaires.

Plus récemment, on a entrepris d'utiliser le sérum provenant de la fabrication du fromage blanc, séché par le procédé dans lequel on commence par faire mousser le produit, procédé que nous avons signalé au début de cette note. Le sérum frais est tout d'abord pasteurisé et concentré dans le vide, de façon à porter son extrait sec à 45-50 p. 100. A ce moment, on peut le sécher par atomisation. Cependant, par suite de la teneur élevée en acide du produit, l'opération est assez difficile et on est parvenu à surmonter les difficultés initiales en injectant un gaz dans les tuyauteries qui alimentent la buse de pulvérisation, de façon à faire mousser le produit [8]. L'injection de gaz dilate les particules de liquide, augmente leur surface, et diminue leur densité. De ce fait, les particules flottent plus longtemps dans l'air et leurs qualités de ruissellement dans les conduites de l'installation sont améliorées. Ces particules ont moins tendance à coller aux parois de l'appareillage, d'où réduction des difficultés rencontrées précédemment.

Lorsqu'on utilise de l'air comme gaz propulseur, on obtient une poudre de densité apparente relativement basse, qui peut s'abaisser jusqu'à 0,25 contre 0,50, pour la poudre de sérum séchée par les procédés classiques. Ceci naturellement double le volume de la poudre une fois emballée et on peut obtenir une poudre de densité plus élevée en remplaçant l'air par du gaz carbonique [9].

La poudre de sérum, préparée par séchage-moussage, n'absorbe pas l'humidité, quoique le lactose contenu dans le sérum ne soit pas cristallisé avant le séchage, pas plus qu'il ne cristallise au cours de l'opération. C'est probablement la forme inhabituelle des particules séchées dans ces conditions qui explique leur faible pouvoir absorbant pour l'humidité, inférieur à celui des particules séchées par atomisation, sans injection de gaz.

Le sérum fourni par les fabriques de fromage blanc étant fortement acide, l'acidité doit être neutralisée, à moins qu'elle joue un rôle comme constituant dans les mélanges dans lesquels on introduit la poudre de sérum de ce type. Si la neutralisation

s'impose, cette opération peut s'effectuer avant ou après séchage. Elle se réalise par addition de soude caustique ou de chaux et le pH ne doit pas être inférieur à 6. Il faut en particulier éviter toute neutralisation excessive et en aucun cas le pH ne doit dépasser 6,5.

Pour terminer, nous avons donné, d'après E. O. Whittier et B. H. Webb [10], quelques formules de préparation de caramels à base de sérum condensé sucré. On peut également utiliser du sérum condensé non sucré, ou de la poudre de sérum dans ces formules, en tenant compte que le produit condensé sucré contient en moyenne 38 à 40 p. 100 de constituants solides provenant du sérum et la même quantité de sucre. Si donc, on n'utilise pas de sérum condensé et sucré, la quantité de sucre manquante doit être ajoutée au sérum condensé ou à la poudre de sérum. Le sucre facilitant le mouillage de la poudre de sérum, les mélanges de poudre de sérum et de sucre seront préparés et dispersés dans l'eau à la température ordinaire, et le mélange obtenu ajouté aux autres constituants.

Le tableau ci-dessous donne les formules de trois types de caramels: un produit à structure granuleuse ou Fudge que nous avons décrit précédemment, une formule de caramel mou et une formule de caramel à pâte plus dure (toffee).

	<i>Caramel à structure granuleuse</i>	<i>Caramel mou</i>	<i>Caramel à pâte plus dure</i>
Sérum condensé sucré	43 parties	45 parties	52 parties
Sucre	11 »		
Sirop de maïs	9 »	28 »	42 »
Sirop de sucre inverti	3 »	6 »	
Constituants solides de lait écrémé		6 »	
Graisse végétale		4 »	
Graisse de lait (beurre ou crème) .	2,5 »	5 »	
Fondant	20 »		
Chocolat	6 »		6 »
Lactose pulvérisé (pour ensemencement)	0,1 »		
Noisettes	5,4 »	6 »	
Vanille (pour parfumer)			

Le mélange de ces constituants doit être cuit dans une bassine munie d'un agitateur à double action à vitesse rapide. On peut ajouter de l'eau, avant cuisson, si cela est nécessaire pour faciliter le mélange des constituants. Le coagulum fourni par les protéines du sérum est mou et floculant, il n'exige pas de traitement spécial et se disperse facilement dans la masse. Lorsque le sérum constitue la seule source de protéines du lait, il n'y a pas à craindre la forma-

tion d'agglomérats ou l'apparition d'une structure irrégulière, comme cela se produit lorsqu'on utilise du lait écrémé.

Caramel à structure granuleuse.

Procéder à la cuisson en agitant le mélange de sérum condensé sucré, de sucre, de la moitié du sirop de maïs et du sucre inverti. La crème ou le beurre sont ajoutés après que le mélange aura été partiellement réduit par cuisson. Poursuivre la cuisson à 120° C, refroidir de 25 à 30° C, ou transférer le produit dans de plus petites bassines qui serviront à couler le mélange. Ajouter le reste du sirop de maïs, le fondant et le chocolat, en agitant pendant quelques minutes. Ajouter le lactose pulvérisé, la vanille ou tout autre parfum et les noisettes, poursuivre l'agitation pendant quelques minutes et verser dans un moule en bois.

Caramel mou.

Les constituants sont cuits à environ 120° C, et les produits d'origine lactée doivent être ajoutés lorsque le sirop a été partiellement réduit par ébullition. Ajouter les noisettes et aromatiser avant de verser sur un moule graissé.

Toffee.

Procéder à la cuisson du sérum condensé sucré et du sirop à 120° C ou, si on le désire, à une température supérieure, refroidir, ajouter le chocolat et couler.

RÉFÉRENCES

- [1] *Manuf. Milk Product J.*, 1965, t. 56, n° 5, p. 7.
- [2] Fromageries Bel, *Br. fr.* 1 325 776, et 1 326 529 de 1963.
- [3] BLAKELY (L. E.) et coll., *Quart. Bull. Mich. Agr. Expt. Station*, 1964, t. 47, n° 2, p. 142.
- [4] BLAAUW (J.) et coll., *Misset's Zuivel*, 1965, t. 71, n° 32, p. 709.
- [5] CHAPMAN (L. P. J.), *N. Z. J. Dairy Tech.*, 1966, t. 1, n° 3, p. 78.
- [6] WEBB (B. H.), *J. Dairy Science*, 1966, t. 49, n° 10, p. 1310.
- [7] RAMSDALL (G. A.) et WEBB (B. H.), *J. Dairy Science*, 1938, t. 21, p. 305.
- [8] HANRAHAN (F. P.) WEBB (B. H.), *Food Engin.*, août 1961.
- [9] SELMAN (R. L.), HANRAHAN (F. P.) et WEBB (B. H.), Commun. au 59^e Annual Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, Amherst, (Mass.), 26-29 juin 1966.
- [10] WHITTIER (E. O.) et WEBB (B. H.), « By products from milk ». Ed. Reinhold Publishing Corp., New-York, 1950.