Etudes biotechniques sur la fabrication de yoghourt doux et aromatique

COMMUNICATION IX

L'épaississement succédant au traitement mécanique du coagulum, ses influences, ses phases et ses utilités pratiques

par

Joseph A. KURMANN

*Professeur et chef du laboratoire de biotechnologie laitière
Ecole de Laiterie et Station Laitière
1725 Grangeneuve-Fribourg (Suisse)*

I. - INTRODUCTION ET BUT

L'étude présente est une suite des nombreuses communications déjà publiées [4-11] dont la dernière traite des principes généraux des divers genres de traitement mécanique du coagulum et de leurs effets sur la viscosité du yoghourt nature brassé. Le phénomène d'épaississement qui suit les heures et les jours du rompage ou de la division du caillé y est étroitement lié. Cette question est le but poursuivi au cours de la présente étude.

Ce sujet d'étude est limité par les mêmes conditions d'essais indiquées dans la communication précédente (l'emploi de lait complet non homogénéisé, le refroidissement des gobelets à l'air froid, etc.). Vu le peu d'importance d'ordre pratique du procédé de lamellation (1) mentionné dans la communication précédente, il ne sera pas l'objet de cette étude, qui se concentrera donc sur les influences qui se manifestent en relation directe avec le traitement mécanique sur l'épaississement, à partir du terme de l'incubation jusqu'à la consommation.

(1) Division du caillé par passage dans un appareil constitué par de nombreuses lamelles.

II. - ETUDE DE L'ÉPAISSISSEMENT DU COAGULUM APRÈS LE TRAITEMENT MÉCANIQUE

A. - GENERALITES

Des indications sur la structure du gel du yoghourt qui consiste en un filet de particules de caséine, figurent dans la communication II [5] et VIII [11].

Le yoghourt brassé s'épaissit par la suite avec une intensité et une vitesse variables. Cet épaississement est le résultat d'influences différentes qui peuvent se classer en trois groupes principaux : a) l'épaississement par la réhydratation ou gonflement des particules de protéines. De plus amples indications à ce sujet sont mentionnées dans la communication II [5] ainsi que dans les travaux de Schulz [13-14] qui illustre par un schéma le fait de l'hydratation ; b) la rigidité croissante des particules de protéines et globules de graisse sous l'influence du refroidissement ; c) l'épaississement par thixotropie c'est-à-dire par un phénomène d'orientation, d'agglomération et d'augmentation de l'énergie et de la surface d'adhésion des particules de caséine (éléments structuraux). Il nous semble que la thixotropie des caillés acido-lactiques est un sujet d'étude qui mériterait d'être approfondi par la recherche laitière de base.

Selon le caractère de notre expérimentation biotechnique, il est parfois difficile de séparer exactement les différentes influences. Cependant nous pouvons formuler quelques principes généraux d'une importance pratique, qui sont décrits ci-après.

B. - ETUDE ANALYTIQUE DES DIFFÉRENTES INFLUENCES SUR L'ÉPAISSISSEMENT

AA. Les influences sur l'état colloïdo-chimique

1) La température

La température influence la viscosité par l'hydratation et la thixotropie des particules de protéines. Certainement, la température est un des facteurs le plus important qui influence l'état colloïdo-chimique. L'effet sur la rigidité des particules est traité en même temps que les influences sur l'état physique.

a) *Influence des températures différentes en général*

Lors de plusieurs essais y compris ceux qui sont mentionnés dans le tableau 1, ont été faites les observations suivantes :

aa) Température de 40-45° C (température d'incubation). La reprise (2) est très rapide, mais il résulte en même temps l'inconvénient d'une forte tendance de formation d'un caillé granuleux ou de blocs de caillé, suivie d'une séparation complète du lacto-sérum lorsque le pH est suffisamment bas. Ainsi pour favoriser l'épaississement, cette température n'entre pas en ligne de compte pour une fabrication sûre. On constate ce phénomène jusqu'à la température de 35° C environ.

bb) Température de 25-30° C. Les risques de provoquer les défauts mentionnés ci-dessus sont écartés. Notons également que pour le yoghourt homogénéisé, Gavin [2] préconise que la reprise ait lieu à 30° C, c'est-à-dire à une température qui est 10-15° C en dessous de la température de fermentation.

cc) Température de 18-20° C. A cette température, l'influence de l'hydratation est moins importante qu'à 7° C et celle de la thixotropie est plus faible qu'à 30° C.

dd) Température de 7° C. Le caillé prend un aspect plus mou, plus velouté et plus visqueux par rapport aux températures plus élevées.

b) *Règles générales sur l'influence de la température.* On peut établir les principes suivants :

aa) En déduction des essais de conservation du caillé à des températures différentes on peut conclure comme suit : La rapidité de la reprise est en fonction du degré de la température. Ainsi, plus la température est élevée, plus rapide est la reprise, mais finalement moins conséquente comme l'indique le tableau 1. Inversement, moins la température est élevée, plus la reprise est lente, mais au total, il en résulte une plus grande viscosité pour le caillé, son aspect est plus velouté, plus fin et plus mou.

bb) Plus on rehausse la température, plus on favorise l'épaississement par le système thixotropique. Par contre, plus on l'abaisse plus on accroît l'épaississement par l'hydratation.

cc) L'hydratation a une influence beaucoup plus forte sur l'augmentation de la viscosité que la thixotropie. L'idéal consiste donc à obtenir de ces deux facteurs l'effet maximum (voir le chapitre 3).

dd) Pour un stockage à froid, on obtient une consistance excellente après un séjour minimum de 1 à 2 j même si la teneur en extrait sec est relativement faible (voir aussi le tableau 2 de la communication VIII [11]). Ainsi, l'affinage du yoghourt par un stockage à froid pendant 1-2 j est un procédé recommandable qui est déjà partiellement employé. Il faut bien préciser qu'il s'agit du stockage après le traitement mécanique du caillé.

(2) Gélification après le brassage du caillé.

TABLEAU 1

Epaississement du yoghourt nature brassé d'une incubation à des températures différentes exprimé par la vitesse d'écoulement en secondes (*)

Genre de traitement mécanique	Température d'épaississement et de stockage												
	30° C					20° C				7° C			
	II Temps		III	IV	pH	II	III	IV	pH	II	III	IV	pH
1) <i>Brassage mécanique</i> .	0 h	53,5	16	9	4,20	t.e.	23	10	3,90	t.e.	53	20	3,95
	1 h	72	20	9	3,90	98	26	12	3,90	t.e.	61	24	4,00
	2 h	81	22,5	10,5	3,90	112	29,5	13,5	3,95	t.e.	61,5	24,5	4,05
	3 h	95	22,5	10,5	3,85	131	31,5	14,5	3,95	t.e.	65	24	3,85
	4 h	90	24	11	3,85	135	28	12	3,95	t.e.	65	29	3,85
	24 h	143	30,5	13	3,60	228	46,5	18,5	3,82	t.e.	65	46	3,80
	48 h	—	—	—	—	300	75	27	3,60	t.e.	—	45	3,80
2) <i>Homogénéisation</i> . . .	0 h	35	13	7,5	4,20	46	16	8,5	3,90	65	20	9,5	3,95
	1 h	43	14	7,5	3,90	56	16	8,6	3,90	92,5	24,5	11,5	4,00
	2 h	45,5	15	7,5	3,90	56	17	8,5	3,95	85,5	24,5	11,5	3,95
	3 h	50	16	8,5	3,85	56	17	8,5	3,95	99	26	11,5	3,90
	4 h	51	16,5	8,5	3,85	58	17,5	8,5	3,90	104	27	12,0	3,90
	24 h	65	18,5	9,5	3,65	87	22	10	3,85	127	31	13,5	3,90
	48 h	—	—	—	—	96	29	13	3,60	180	39	16	3,90

Ouverture d'écoulement du viscosimètre « Niebüll » :

II = 2 mm, III = 3 mm, IV = 4 mm ; t.e. caillé trop épais pour la mesure de la viscosité.

(*) Expérience préparée avec le même lait et exécutée en même temps.

— : séparation du caillé et expulsion du lactosérum.

2) Le pH

Il n'est pas toujours facile dans les essais de bien séparer l'influence de la température de celle du pH. Dans l'ordre suivant se résument les résultats de nos expériences y compris de celles qui sont mentionnées dans le tableau 2.

a) *Influence de pH différents en général*

aa) Aux environs de pH 4,8 - 5,30 : comme déjà indiqué dans la communication VIII, la faculté de gélifier est d'autant plus intense qu'on se rapproche du point iso-électrique apparent [11]. Il y a une forte tendance de formation d'un coagulum plus ou moins intact.

bb) Zone de pH 4,30 - 4,60 : c'est une zone de pH avantageuse, car le yoghourt n'a pas encore un goût trop acide et présente déjà une certaine fermeté par l'hydratation qui augmente avec l'acidification. C'est aussi la zone de pH recommandée par Gavin pour l'épaississement du yoghourt homogénéisé [2].

cc) Zone de pH 3,80 - 4,00 : le yoghourt présente un goût acide pour le consommateur. Au point de vue de la viscosité, on constate souvent une augmentation considérable comme Alais [1] l'a déjà signalé.

b) *Règles générales sur l'influence du pH*

On peut formuler les principes suivants :

aa) Selon la communication II, fig. 3 et 4 [5], nous voyons qu'à pH 4,6 se présente une agglomération irrégulière des particules de caséine, dont la structure globulaire peut encore être reconnue. Par contre à pH 3,8 la structure globulaire n'est plus visible. Cette cohérence accrue des particules sous l'effet d'un abaissement de pH se traduit par une meilleure viscosité.

bb) Comme mentionné précédemment, entre le pH 4,7 et 3,8, il résulte une augmentation de l'acidité et parallèlement une augmentation de la viscosité. Selon Galesloot [3] il faut préciser que les petites variations d'acidité n'influencent pas sensiblement la viscosité du yoghourt ; donc, il est à déduire que les variations doivent être importantes pour se constater.

cc) L'accroissement de la viscosité, remarqué auparavant par un abaissement du pH, est probablement, avant tout, provoqué par un effet sur l'hydratation. Par contre une influence du pH sur la thixotropie semble être minime ou nulle. Il est possible qu'elle entre seulement en ligne de compte pour des pH au-dessus de 4,7.

3) Le genre de traitement mécanique

Le genre de traitement mécanique influence la grandeur des particules du caillé et a, de ce fait, également un effet physico-chimique sur l'hydratation et la thixotropie.

TABLEAU 2

Influence du pH sur l'épaississement du caillé pour des traitements mécaniques différents
après un stockage de 24 et 48 h à + 7° C (*)

Traitement mécanique	pH différents (Accroissement de la viscosité exprimé par la vitesse d'écoulement en secondes)								
	Exemple 1 pH 4,20			Exemple 2 pH 4,05			Exemple 3 pH 3,80		
		II	III	II	III	IV	II	III	IV
1) <i>Homogénéisation</i>	24 h	1	—	0	—	—	0	—	—
	48 h	19	—	15	—	—	102	—	—
2) <i>Brassage mécanique</i>	24 h	t.e.	54	t.e.	22	—	t.e.	39	—
	48 h	t.e.	92	t.e.	45	—	t.e.	74	—
3) <i>Brassage à la main</i>	24 h	t.e.	48	t.e.		23	t.e.	t.e.	68
	48 h	t.e.	95	t.e.		30	t.e.	t.e.	t.e.

Ouverture d'écoulement du viscosimètre : II = 2 mm, III = 3 mm, IV = 4 mm.

t.e. : caillé trop épais pour pouvoir mesurer la vitesse d'écoulement.

(*) préparé avec le même lait et effectué en même temps.

Selon les tableaux 2 et 3, on constate que l'épaississement du yoghourt homogénéisé pour une zone de pH entre 3,8 et 4,3 est de 80-95 p. 100 inférieure par rapport à celui du yoghourt brassé mécaniquement pour une température de stockage à 7° C et pour des températures plus élevées environ 25-75 p. 100 plus bas.

La réhydratation est fonction de la grandeur des morceaux de caillé ; donc en relation avec l'intensité du traitement mécanique. Dans le cas du yoghourt homogénéisé, par la destruction de la structure, le gonflement des particules est non seulement fortement réduit, mais également retardé par rapport au brassage mécanique (beaucoup plus faible après 24 h comme le tableau 2 le montre, par exemple).

b) *La déhydratation (synérèse) visible*

La possibilité de déhydratation ou synérèse visible du caillé est beaucoup plus réduite pour le yoghourt brassé que pour le yoghourt non brassé. Le caillé est déjà divisé par le brassage ; de ce fait l'eau libérée est répartie dans la masse (les morceaux sont entourés de sérum), ce qui évite la formation de poches de sérum. Pour le yoghourt homogénéisé, elle doit être quasi nulle.

c) *Thixotropie*

L'effet de la thixotropie du caillé s'observe le mieux sur le yoghourt homogénéisé, dont l'hydratation des particules est réduit, comme déjà mentionné. En général l'influence de la thixotropie sur l'épaississement doit être beaucoup plus faible que celle de la réhydratation. Il nous semble également que le yoghourt homogénéisé, par le fait de la destruction complète de la structure et de la liquéfaction, montre un effet plus visible d'épaississement par thixotropie que le yoghourt brassé.

4) L'épaississement du yoghourt aux fruits

Bien que cette question n'entre pas en ligne directe dans notre sujet, nous voudrions cependant mentionner que l'adjonction d'extrait de fruits apporte un épaississement non seulement par l'augmentation de l'extrait sec, mais aussi par la gélification de la pectine provenant des concentrés de fruits. A la condition d'une durée de conservation minimale, cet effet s'avère plus rapide et d'autant meilleur en raison de la quantité d'extrait de fruits et du degré plus élevé de la température de stockage.

BB. Les influences sur l'état physique du caillé brassé

a) *Effet du froid sur la rigidité des particules du coagulum*

Par le fait que le traitement mécanique du caillé est souvent pratiqué à chaud, il convient de mentionner l'effet bénéfique du refroidissement qui suit sur la viscosité. Selon la description précédente

TABLEAU 3

Influence des différents traitements mécaniques sur l'épaississement du yoghourt conservé à 7° C

Genre de traitement	Augmentation de la viscosité en secondes au cours des 48 h après le traitement mécanique (*)		
	Exemple 1 pH 3,80	Exemple 2 pH 4,05	Exemple 3 pH 4,10
1) <i>Homogénéisation</i>	II = 3 III = 0	II = 15 III = 0	II = 29 III = 1
2) <i>Brassage mécanique</i>	II = 74 III = 41	II = 70 III = 45	II = 128 III = 25
3) <i>Brassage à la main</i>	II et III et IV t.e.	II = t.e. III = t.e. IV = 35	II = t.e. III = 40 IV = 13

L'ouverture d'écoulement du viscosimètre : II = 2 mm, III = 3 mm, IV = 4 mm.

t.e. : caillé trop épais pour pouvoir mesurer la viscosité.

(*) Préparé à partir du même lait et en même temps.

de l'influence de la température sous l'angle chimique, il convient maintenant de mentionner l'effet physique de celle-ci sur la rigidité des particules de caséine et des globules de matière grasse en fonction de la viscosité.

Par l'abaissement de la température, la viscosité du yoghourt augmente considérablement, c'est-à-dire bien plus fortement que pour le lait, du fait que la caséine se trouve en l'état coagulé. Le tableau 4 montre deux exemples de l'influence de différentes températures sur la viscosité. Par l'abaissement de la température la matière grasse se solidifie, se cristallise, et provoque de ce fait également une augmentation de la viscosité.

On peut en déduire que la température apporte le plus grand accroissement de la viscosité surtout par le fait d'un raffermissement (augmentation de la rigidité) de la structure, qui est bien plus important pour le yoghourt brassé et considérablement plus faible pour le yoghourt homogénéisé.

b) *La grandeur des flocons de caillé à la fin du traitement mécanique*

La grandeur des flocons du caillé influence la viscosité. Comme déjà constaté dans la communication VIII elle peut différer fortement et surtout par le fait d'agitateurs mécaniques mal construits. L'idéal consiste à rechercher des grains (flocons), qui soient aussi grands que possible et donnant encore l'aspect d'un brassage homogène.

D'après le tableau 3, selon le traitement mécanique du caillé suivi d'un repos de 48 h à 70° C, on peut constater un épaississement qui diminue en intensité dans l'ordre indiqué ci-après : brassage à la main (flocons plus grands et souvent très irréguliers), brassage mécanique, homogénéisation (destruction complète de la structure en petites particules - liquéfaction).

Notons que ce problème relève plutôt du traitement mécanique, mais, désirant être complet, nous avons rapidement résumé l'influence de la grandeur des flocons sur la viscosité selon la description donnée dans la communication VIII.

C. - LES PHASES DIFFÉRENTES D'ÉPAISSISSEMENT

Dans le graphique ci-après nous montrons les phases différentes d'épaississement du yoghourt brassé, soit :

a) *Fabrication.* La préparation du yoghourt depuis le début jusqu'à la fin de l'incubation est une phase qui n'entre pas directement ici en ligne de compte et comprend les influences déterminant l'épaisseur comme la teneur en extrait sec, la température de chauffage du lait, le pH, etc., c'est-à-dire la base de départ.

TABLEAU 4

Influence de températures différentes sur la viscosité du yoghourt brassé ou homogénéisé porté à des températures différentes

Genre de traitement mécanique	Température (*)					
	30° C		20° C		7° C	
	n° 1	n° 2	n° 1	n° 2	n° 1	n° 2
<i>Brassage mécanique</i>	30,5	16	46,5	23	90	53
<i>Homogénéisation</i>	18,5	13	22	16	31	20

(*) Mesures exécutées avec le viscosimètre^e « Niebüll », ouverture d'écoulement de 3 mm. Indication de la vitesse d'écoulement. pH 4,10

Graphique.

Courbe d'épaississement (viscosité) du yoghourt nature brassé et ses différentes phases

Les phases différentes d'épaississement :

(1) Préparation respectivement fabrication proprement dite.

(2) Refroidissement à l'air froid : rapide augmentation de la viscosité surtout par l'influence physique du froid et en minime partie par les influences colloïdo-chimiques (hydratation et thixotropie).

(3) Continuation du refroidissement et stockage entre 0 et 5° C : action en premier lieu par les influences colloïdo-chimiques.

3 a épaississement accéléré ; 3 b épaississement ralenti.

(4) Transport - Détaillant - Consommateur.

(*) Lait complet (sans enrichissement en extrait sec ; pH final : 4,0).

(**) Viscosimètre « Niebüll » — Ouverture d'écoulement : 3 mm.

b) *Refroidissement.* Le refroidissement est caractérisé surtout par l'augmentation de la viscosité sous l'influence du froid, qui se traduit par une forte montée de la courbe.

c) *Stockage à basse température.* Pour le stockage pendant les 2 à 3 premiers jours où une augmentation de la viscosité par hydratation a encore lieu, on peut distinguer deux sous-phases caractérisées comme suit :

aa) Par un épaississement accéléré jusqu'après 24 h.

bb) Par un épaississement ralenti jusqu'après environ 48 à 72 h (généralement le maximum de viscosité est atteint après 48 h).

d) *Transport - détaillant - consommateur*. Dans cette phase mouvementée, qui est caractérisée par un vieillissement des protéines, nous observons plutôt une tendance à la diminution de la viscosité (par la protéolyse, par une élévation de la température, etc.).

En ce qui concerne le yoghourt homogénéisé, l'épaississement s'avère, de façon générale, considérablement plus faible que pour le yoghourt brassé.

III. - SUR LE PROCÉDE DE FABRICATION DE YOGHOURT BRASSE EN VUE D'UN ÉPAISSISSEMENT MAXIMUM

Résumons, d'après le chapitre précédent encore selon notre évaluation, qui reste très approximative, que l'épaississement est provoqué pour environ 60 p. 100 par la rigidification de la structure sous l'effet du refroidissement, pour environ 30 p. 100 par le gonflement des particules sous l'effet du refroidissement et par environ 10 p. 100 par le système thixotropique (favorisé par des températures élevées, freinées par le froid).

Au terme de la dernière communication, nous avons esquissé le procédé de fabrication en vue d'un épaississement idéal. Par la suite, nous voudrions développer certains points de ces descriptions selon les différentes phases de fabrication en tenant compte des cas et des problèmes différents qui se posent en pratique.

- 1) Incubation à température stable à 41-44° C jusqu'à pH 5,30**
- 2) Eventuellement incubation à température dégressive jusqu'à pH 4,7**
- 3) Refroidissement choc**

Pour de plus amples détails concernant l'incubation voir la communication IV [7]. Le refroidissement choc décrit dans les communications IV, V et VI consiste à refroidir rapidement le caillé de la température d'incubation entre 28-30° C pour arrêter la multiplication cellulaire aussi fortement que possible et aussi pour pouvoir brasser le caillé sans défauts de consistance (séparation du lactosérum, etc).

- 4) Le traitement mécanique du caillé par le brassage dosé**
- 5) Le refroidissement en dessous de 10° C après le brassage à chaud**

Brassage dosé avec un appareil spécialement conçu pour les matériaux thixotropes comme le décrit la communication VIII [11] ;

on peut distinguer que la nécessité du brassage à chaud ou à froid dépend des installations mécaniques, de l'organisation du travail, de la distribution des produits fabriqués, etc.

Le refroidissement du caillé après l'incubation est pratiqué très différemment, avec air froid, avec circulation ou immersion dans de l'eau froide glacée, ou par détente directe du gaz. La vitesse de refroidissement est fortement influencée par le récipient d'incubation (bidon, gobelet, tank) et par le degré de froid appliqué (voir ci-dessus). Elle devrait être appropriée aux conditions différentes d'équipement de chaque usine.

Selon la vitesse de refroidissement et l'épaisseur de couche, nous avons un épaissement variable par le système thixotropique (qui est surtout favorisé lorsque les températures élevées sont longtemps maintenues et en couche épaisse) ou par hydratation (les températures basses augmentent l'hydratation mais diminuent au contraire l'effet de la thixotropie). En outre, comme déjà mentionné, le refroidissement lui-même a une influence considérable sur la fermeté (rigidité) de la structure et augmente davantage la viscosité.

Concernant le refroidissement, en résumé, nous pouvons énoncer tout d'abord le facteur physique, le froid, qui augmente directement la viscosité en fonction de l'abaissement de la température. Par contre, les facteurs colloïdo-chimiques demandent un certain temps et une certaine température de réaction pour l'accomplissement de leurs effets favorables. Certains aspects de cette question seront développés dans la communication suivante.

Pour le traitement mécanique et le refroidissement du caillé il existe plusieurs possibilités imposées par les installations différentes des usines, par le système de distribution, etc., qui seront examinées ci-après. Le problème du stockage est traité plus loin.

a) *Brassage à chaud, suivi d'une incubation spéciale et d'un refroidissement rapide.*

Pour obtenir un épaissement maximum, il faudrait donc judicieusement combiner l'influence de la thixotropie et celui de l'hydratation, qui consisterait surtout en une incubation spéciale pour l'épaissement.

aa) *Durée de la reprise* : comme le tableau 1 le montre, il faudrait incuber très longtemps à 30° C pour avoir un épaissement considérable. On peut dire que 1 h est un minimum et qu'après 4 h on constate encore une augmentation notable de la viscosité. Comme l'acidification progresse rapidement après l'incubation, il faut raccourcir la durée d'incubation au temps maximum de 60 mn, de préférence 30 mn.

bb) *Température et pH d'incubation* : en principe, comme précédemment mentionné, pour raccourcir le temps de la reprise c'est-à-dire pour éviter une suracidification, il est mieux qu'elle ait lieu à une température autour de 35-38° C et à un pH environ 4,7 c'est-à-

dire à une température et à un pH aussi élevés que possible (sans causer de défauts de consistance).

Par l'orientation des éléments structuraux (thixotropie) il y a non seulement une augmentation de la viscosité lors de l'incubation, mais également une amplification sous l'influence du froid, ainsi que décrit précédemment.

Après cette incubation spéciale un refroidissement rapide est indiqué.

Pour l'instant, avec le genre d'appareillage et sa disposition actuelle en usine, cette incubation spéciale n'est pas réalisable pour la fabrication industrielle, car le pompage et le remplissage en gobelets reliquifie partiellement le caillé épaissi. Notons cependant qu'elle pourrait être prise en considération pour la fabrication non industrielle (artisanale) avec un remplissage très soigné soit à la main (à l'aide d'un pot) ou semi-mécanique (sans pompage). On peut éventuellement se demander si on ne pourrait pas supprimer les pompes de caillé en disposant le tank d'incubation directement sur la remplisseuse.

b) Brassage à chaud, suivi d'un refroidissement lent.

C'est le procédé souvent imposé par l'incubation en couche épaisse (bidon, tank), qui permet également de faire intervenir l'effet de la thixotropie et donne de bons résultats.

Si l'incubation spéciale n'est pas possible comme décrit ci-dessus, on peut donner la préférence plutôt à un refroidissement lent jusqu'en dessous de 10° C pour permettre l'épaississement par thixotropie à condition que la multiplication cellulaire ait pu être suffisamment ralentie. Autrement dit, il faudrait trouver la vitesse de refroidissement idéale pour que la postacidification ne soit pas importante, mais que l'épaississement se poursuive avec le maximum d'intensité. Il faut éviter le brassage, ce qui éliminerait un effet favorable.

c) Refroidissement aussi rapide que possible et brassage à froid

Si les conditions mentionnées sous a) et b) ne sont pas réunies, il est préférable de refroidir rapidement et de brasser à froid. Il convient donc de surveiller le brassage et que les flocons de caillé soient aussi grands que possible. De plus, le temps récupéré par le refroidissement rapide permet un plus long stockage à froid (voir ci-après) et favorise ainsi l'hydratation.

6) Stockage à froid autour de 0° C

Comme déjà mentionné, l'affinage du yoghourt par un stockage à froid pendant 2 jours est le meilleur procédé et le plus recommandable. Pour certains fabricants, les difficultés d'obtenir une bonne consistance proviennent du fait que le repos au froid est trop bref. Notons que Pette a également constaté l'effet bénéfique du froid sur la consistance [12].

Concernant la température de stockage, nous préconisons environ 0° C pour empêcher le développement des germes nuisibles (voir la communication VI) et pour favoriser l'hydratation au maximum, surtout lorsqu'il est consommé dans les conditions recommandées ci-dessous.

Le yoghourt aux fruits, nécessitant pour l'adjonction de fruits un traitement mécanique complémentaire, est brassé de préférence uniquement au moment de cette adjonction. Il est recommandable d'effectuer cette adjonction le plus tôt possible, afin de favoriser un épaississement dû aux substances lactées et à la pectine.

A défaut de temps pour un stockage à froid, il serait souhaitable de refroidir au plus vite pour améliorer avant tout la consistance sur la base de la fermeté de la structure, puis permettre ensuite l'hydratation avant ou pendant la livraison du yoghourt.

7) Consommation du yoghourt et influence de la température

Le yoghourt est consommé à des températures différentes et ceci dépendra toujours aussi des conditions atmosphériques et de la saison.

a) *La consommation à froid, à la température de l'armoire froide (0-7° C)*, provoque une sensation froide pour certaines personnes et pour d'autres de la fraîcheur. Les qualités gustatives, comme toujours à froid, ne sont pas mises suffisamment en valeur.

b) *Consommation de préférence à 10-12° C*. Nous préconisons la consommation du yoghourt brassé à une température de 10-12° C selon la description suivante. Pour le fabricant comme pour le consommateur, il est à remarquer que le yoghourt doit être consommé frais, surtout en dessous de 20° C, à 12° C de préférence, dans le but d'avoir une bonne viscosité, de savourer ses qualités gustatives et de donner également une impression de fraîcheur. Les nombreuses mesures de viscosité montrent que vers 10-12° C le yoghourt a encore une fermeté considérable.

c) *Consommation à la température ambiante de 18/20-25° C*

Bien que pour l'analyse des produits à l'usine, la température ambiante reste un point de contrôle important, la consommation à cette température est à déconseiller (beaucoup trop visqueux, donne peu de fraîcheur). Dans le tableau 4, on constate par exemple un accroissement de 100 p. 100 de la viscosité à 7° C par rapport à une température de 20° C. Des yoghourts d'excellente marque sont, à cette intervalle de température, trop fluides.

Vu la complexité du problème, nous sommes conscients que les études présentes n'ont pas pu épuiser complètement le sujet et certains détails devront encore être traités dans de prochaines communications.

Résumé

1) Sur l'épaississement, le refroidissement en tant que facteur physique a la plus grande influence par l'augmentation de la rigidité du caillé (jusque environ 60 p. 100), alors que les facteurs chimiques tels que l'hydratation (peut-être environ 30 p. 100) et la thixotropie (peut-être environ 10 p. 100) ont certainement un effet plus faible.

2) Les principales influences sur l'hydratation et la thixotropie sont résumées au tableau 5 récapitulatif.

TABLEAU 5

Influences	Epaississement par :	
	Hydratation	Thixotropie
1) <i>Température</i> . Abaissement	+	—
2) <i>pH</i> . Abaissement	+	+
3) <i>Teneur en extrait sec</i> . Augmentation	+	+
4) <i>Grandeur des particules du caillé</i> . Augmentation	+	+?

+ augmentation ; — abaissement ; ? insuffisamment connu.

3) En tenant compte des résultats de ces expériences nous recommandons la technique de fabrication suivante : a) incubation à température stable à 41-44° C jusqu'à pH 5,30 ; b) incubation à température dégressive (par l'arrêt du chauffage et la continuation de l'incubation jusqu'à pH 4,7) ; c) refroidissement choc jusqu'à 28-30° C ; d) traitement mécanique du caillé par un brassage dosé ; e) refroidissement plutôt lent en dessous de 10° C ; f) stockage à froid pendant 1 j au minimum, ou mieux encore pendant 2 j ; g) consommation à 10-12° C pour maintenir la bonne viscosité, ainsi que l'excellente fraîcheur et les qualités gustatives.

4) L'épaississement le plus considérable a lieu dans les 12 à 24 h ; il augmente encore lentement jusqu'à 48 h après la fabrication.

Summary

It is written upon the different influences (temperature, pH, dry matter, kind of mechanical treatment of coagulum, refrigeration) and phases (manufacturing, refrigeration, storage, delivery, sale) of thickening of yoghourts.

We recommend to take first the mechanical treatment of the coagulum by 30-35° C, afterwards not cool too quickly on 0-7° C, to store 48 hours by temperature of 0-7° C, and to eat the yoghourt by 10-12° C.

Reçu pour publication le 31 juillet 1969

Bibliographie

- [1] ALAIS (Ch.) (1965). — Science du lait. Principes des techniques laitières. 2^e éd., Ed. S E P, Paris 1^{er}.
- [2] GAVIN (M.) (1967). — A propos de la fabrication continue du yoghourt : le brassage à chaud. *Schweiz. Milchztg. (Le Laitier Romand)*, 49. Das Rühren der warmen Gallerte. *Schweiz. Milchztg.*, 60.
- [3] GALESLOOT (Th. E) (1958). — Onderzoekingen over de consistentie van yoghourt. Verslagen van het Nederlands Instituut voor Zuivelonderzoek (N.I.Z.O.) E D E, 32.
- [4] KURMANN (J. A.) (1967). — Etudes biotechniques sur la fabrication de yoghourt doux et aromatique. Communication I. Aperçu critique sur les principes généraux et leur application. *Le lait*, 47, 267-287.
- [5] KURMANN (J. A.) (1967). — Yoghourt II. Classification et description systématique des principales influences qui modifient la consistance, la viscosité et la séparation du sérum. *Le Lait*, 47, 415-428.
- [6] KURMANN (J. A.) (1967). — Yoghourt III. La sélection des cultures mères et des souches selon des critères technologiques. *Schweiz. Milchztg. (Le Laitier Romand)*, 67 et 69.
- [7] KURMANN (J. A.) (1967). — Yoghourt IV. La conduite technique de l'acidification pendant le processus de fabrication industrielle et non continue. *Schweiz. Milchztg. (Le Laitier Romand)*, 79, 81 et 83.
- [8] KURMANN (J. A.) (1968). — Yoghourt V. La congélation à basse température du yoghourt brassé mis en gobelet, soit une nouvelle possibilité d'application du traitement frigorifique pour la prolongation de sa faculté de conservation. *Schweiz. Milchztg. (Le Laitier Romand)*, 23 et 27. *Le Lait*, 48, 419-431.
- [9] KURMANN (J. A.) (1968). — Yoghourt VI. L'analyse des différentes influences sur la faculté de conservation du yoghourt et l'étude des possibilités de sa prolongation par une biostabilisation basée sur la technique de fabrication traditionnelle. *Schweiz. Milchztg. (Le Laitier Romand)*, 59 et 61.
- [10] KURMANN (J. A.) (1968 - 1969). — Yoghourt VII. Aperçu synoptique sur les différentes préparations du yoghourt, ainsi que sur des emplois variés dans l'art culinaire. *Schweiz. Milchztg. (Le Laitier Romand)*, 22. *Le Lait*, 483-484.
- [11] KURMANN (J. A.) (1969). — Yoghourt VIII. Principes généraux des divers procédés de traitements mécaniques du coagulum acido-lactique non rompu lors de la préparation du yoghourt nature brassé et de leurs effets immédiats sur la viscosité et l'aspect du produit non stocké. *Schweiz. Milchztg. (Le Laitier Romand)*, 50 et 52.
- [12] PETTE (J. W.) (1957). — Joghurt und seine Probleme. *Milchwirtschaftl. Forschungsberichte*, 9, 177-190.
- [13] SCHULZ (M. E.) (1963). — Die Technologie von sauren Milcherzeugnissen, insbesondere der Sauermilcharten und Sauerrahmarten. *Milchwissenschaft*, 18, 443-454.
- [14] SCHULZ (M. E.) (1966). — Technologie und Haltbarmachung von sauren Milchprodukten. *Milchwissenschaft*, 21, 71-72.