ÉTUDES BIOTECHNIQUES SUR LA FABRICATION DE YOGHOURT DOUX ET AROMATIQUE

Communication I.

Aperçu critique sur les principes généraux et leur application

par

Joseph A. KURMANN

*Professeur et chef du laboratoire de biotechnologie laitière,
Ecole de laiterie de Grangeneuve-Fribourg (Suisse)*

I. — Introduction

Le yoghourt est un produit laitier ancien. Selon Guirginov [15] il doit son origine à une tribu nomade dont les membres comptent parmi les ancêtres du peuple bulgare. En 1908 la préparation de yoghourt est à la mode [8]. A partir de cette date la fabrication prend de l'extension et devient sujet à de nombreux travaux d'ordre scientifique et technique. Cependant il restait l'objet de nombreux problèmes soit celui de la formation de l'arôme, de la consistance, de la viscosité, de la séparation du petit-lait et, en particulier de celui de l'acidification.

D'autre part, le goût varié des consommateurs pose de constants problèmes au technologue du yoghourt pour rechercher un arôme qui convienne à telle région. Dans les cas des laits fermentés, il est à remarquer qu'ils ont sous leur forme traditionnelle un goût très acide qui ne conviendrait pas aux consommateurs de pays occidentaux habitués à plus d'arôme et à moins d'acidité [20]. C'est ainsi que la clientèle en Suisse [11], en France [5], comme aussi dans d'autres pays exige actuellement un yoghourt doux et aromatique. En Suisse, Mosimann [25] a commencé d'étudier la fabrication d'un yoghourt aux fruits peu acides dès 1952. En Allemagne on pourrait considérer le « Bioghourt » [7], connu depuis 1955, comme correspondant à ces exigences, malgré qu'il ait été primitivement développé dans un but diététique et qu'il ne puisse être considéré comme un yoghourt bulgare.

De ce qui précède, on peut étudier les raisons pour lesquelles on donne la préférence au yoghourt doux et aromatique.

a) Actuellement on préfère en général des produits laitiers d'un goût pas trop prononcé tels que le Kéfir peu alcoolisé, le yoghourt doux (90-95° D environ), le Camembert pas trop mûr.

b) Pour les pays fortement influencés par la finesse de la cuisine française et italienne, tels que la Suisse, les produits laitiers raffinés ont la préférence comme c'est le cas du yoghourt doux et aromatique. Concernant le yoghourt acide l'arôme est couvert par le goût acide-amer de l'acide lactique, qui se manifeste automatiquement à partir d'une certaine concentration.

c) Pour un yoghourt aux fruits, le lait doit être peu fermenté, car uniquement dans un yoghourt doux l'arôme aux fruits ressort bien.

d) Le yoghourt doux est plus digeste soit pour les enfants, les vieillards ou certains adultes à l'estomac délicat ; en outre le yoghourt doux est un excellent aliment pour les enfants.

L'importance de la fabrication et de la consommation de yoghourt aux fruits et aux extraits de fruits par rapport au yoghourt nature est variable. Dans certaines villes la fabrication atteint 70 p. 100 [51] et dans certains pays on consomme de préférence un yoghourt nature.

II. — But de notre étude

Nous voudrions développer et limiter notre sujet comme suit :

1) Avant tout, au cours de ces études réparties en plusieurs communications, nous voulons examiner les problèmes d'acidification en vue de la fabrication d'un yoghourt doux et aromatique.

2) La préparation d'un yoghourt nature doux et aromatique nécessite une acidité limitée qui ne diminue en rien la consistance et l'arôme. De ce fait, cette première communication accrue d'expériences personnelles nous donne un aperçu bibliographique des problèmes de la formation de l'arôme, de la consistance et de l'acidification, en soi sur les principes techniques et scientifiques.

3) Nous nous concentrons avant tout sur la fabrication de yoghourt nature non brassé qui présente les plus grandes difficultés. De ce fait nous touchons également la fabrication de yoghourt nature brassé et celle de yoghourt aux fruits.

4) Contrairement à certains yoghourts du commerce qui contiennent différentes bactéries accessoires comme des ferments d'arôme (*Leuconostoc*), streptocoques mésophiles et des levures, nous préférons pour ces études de base nous borner à la flore traditionnelle d'un yoghourt bulgare composé essentiellement de *Lb. bulgaricus* et *Str. thermophilus*.

III. — Principes généraux de la fabrication du yoghourt doux et peu acide

A. — Formation de l'arôme

1) Développement microbien pendant l'incubation.

Nous pouvons confirmer les études de Pette et Lolkema [32] [34] qui ont observé dans le yoghourt (culture mixte), à la première phase de l'incubation, une grande vitesse de développement et de production d'acide par *Str. thermophilus* tandis que le développement de *Lb. bulgaricus* n'a lieu que dans la dernière phase. Ceci est d'importance pour l'acidification et la formation de substances d'arôme. On trouve au début une action symbiotique et vers la fin de l'incubation une action antibiotique produite par des bâtonnets (31).

Pour accélérer le développement on pratique dans certaines usines une préincubation qui peut être contrôlée à l'aide du test de réductase [19], qui sera traité dans une communication ultérieure.

2) Formation proprement dite de l'arôme.

Les vrais ferments qui produisent l'arôme typique de yoghourt sont exclusivement *Str. thermophilus* et *Lb. bulgaricus*. On peut préparer des produits analogues au yoghourt avec d'autres thermobactéries, mais il manque l'arôme caractéristique [36]. L'arôme est produit en premier lieu par les bâtonnets. L'importance des lactobacilles dans le développement de l'arôme se démontre dans le cas d'un manque de croissance des lactobacilles, ce qui conduit inévitablement à un yoghourt désagréable et fade [16]. Il est possible que les streptocoques contribuent aussi à la formation de l'arôme typique, car ils sont de faibles producteurs de diacétyl [45]. Malgré tout, il faut remarquer que nous avons rarement trouvé de diacétyl dans un yoghourt bulgare.

Les composants principaux de la saveur du yoghourt sont l'acide lactique, la matière sèche et la ou les substances aromatiques produites (composés de carbonyl) [27, 36], dont la nature chimique n'est pas encore bien connue.

Plusieurs facteurs interviennent dans le mécanisme de la formation de l'arôme :

— Le pouvoir individuel des souches de produire des substances d'arôme en culture mixte (lactobacilles et streptocoques).

— Le bon développement des lactobacilles.

Un temps d'incubation de durée minimale doit assurer le bon développement des lactobacilles qui se multiplient beaucoup plus lentement que les streptocoques. La température de culture ne doit pas être trop basse. On peut favoriser le développement des lactobacilles par une augmentation de la quantité d'ensemencement. Un contrôle microscopique du yoghourt à la fin de l'incu-

bation doit révéler une relation de bâtonnets/streptocoques qui ne soit pas trop déséquilibrée [3]. Il faut aussi remarquer que la phase de latence des lactobacilles est beaucoup plus longue que celle des streptocoques.

— L'acidité favorable au développement de l'arôme.

Pette et Lolkema [33] ont découvert qu'une acidité de 38-40 SH° (85-90 D°) est le plus favorable au développement de la saveur. C'est justement la fabrication de yoghourt doux qui permet de pousser davantage la production de substances d'arôme, car on stoppe l'acidification à un niveau qui est propice à son développement. L'acidification ne doit pas être interrompue trop tôt. Ziegler [51] estime aussi que la saveur typique du yoghourt ressort le mieux à une basse acidité de 42-45 SH° (94.5-101.2 D°). Pour accentuer la production d'arôme il faudrait donc maintenir l'acidité aussi longtemps que possible dans la zone d'acidité favorable.

Le mécanisme de la formation d'arôme n'est pas assez connu et les indications précédentes pourraient être un élément de base pour des études ultérieures à ce sujet.

Les différents facteurs qui influencent l'arôme peuvent être ainsi énoncés.

1) *Lait cru utilisé.*

— L'espèce du lait peut masquer l'acidité (goût plus raffiné) : en Bulgarie le yoghourt est toujours entièrement ou partiellement préparé avec du lait de brebis qui donne un yoghourt plus agréable que le lait de vache [51]. L'extrait sec, la teneur en caséine et matière grasse est beaucoup plus élevée, de ce fait le caillé est plus fin [15].

— La composition chimique du lait peut masquer l'acidité : ainsi fait une teneur élevée en caséine et albumine [51] ; la matière grasse communique une saveur plus douce [37-41], donne un arôme meilleur [50], masque l'acidité (produit plus crémeux). Il n'est pas possible de fixer une teneur exacte en matière grasse, car la réduction de la teneur en matière grasse peut être compensée jusqu'à un certain point par l'augmentation de l'extrait sec non gras et la production de mucus. On peut considérer une teneur en matière grasse d'environ 1,5 p. 100 comme un minimum.

Si l'on introduit de la crème malgré un pH très bas, la saveur paraît encore plus douce. On peut aussi préparer des yoghourts à la crème [37-51]. La teneur en matière grasse du yoghourt dépendra de la qualité qu'on veut donner au yoghourt et du prix qu'on peut exiger.

— Qualité organoleptique initiale : le lait doit avoir un bon goût, sans défauts organoleptiques [6]. Défauts : goût de rance, goût de médicament, goût d'oxydation (conserver le lait à l'abri de la lumière du jour et lumière électrique), goût de métal (éviter tout contact avec un métal, etc.) Il existe la possibilité de désodoriser le lait dans un vacreator.

2) *Traitement subi par le lait.*

— La concentration masque l'acidité (goût plus fin) : c'est le meilleur des procédés pour augmenter l'extrait sec, car le goût est le plus favorablement influencé [36].

Sur le degré de concentration on trouve des indications différentes, qui dépendent de la qualité du yoghourt et du prix qu'on peut exiger. Pour donner un ordre d'idée, on recommande une concentration de 10-15 p. 100, [6] où jusqu'à un poids spécifique de 1 040 à 1 045. Une concentration trop forte (vers un poids spécifique de 1 060) pourrait provoquer un goût amer-doux [42-2], acide-caséux [21]. L'adjonction de lait maigre concentré produit le même effet [2].

— L'homogénéisation a un effet favorable car le goût devient plus fin, plus crémeux et plus doux [6], et elle empêche la formation d'une couche de crème à la surface, ce qui influencerait défavorablement la présentation.

— L'écémage donne un goût moins raffiné et plus acide.

— Le chauffage du lait peut donner un goût de cuit : chauffage à une température trop élevée, par exemple à 110° C [6]. En fabrication ménagère, il ne faut pas toujours remuer le lait lorsqu'on le fait bouillir en petites quantités, mais uniquement lorsqu'il s'agit de grandes quantités (goût de cuit, de brûlé) [15].

3) *Additions au lait.*

— L'addition de poudre de lait écrémé masque l'acidité : addition avant pasteurisation [50]. La poudre de lait doit être de bonne saveur, d'un goût franc, ni rance, ni suiffeux et bien soluble [51]. L'addition en quantité trop élevée (3 p. 100 environ et plus) peut donner une saveur de poudre de lait [6-41].

— L'addition de lait concentré masque l'acidité (goût plus raffiné) : l'addition de lait concentré pour augmenter l'extrait sec est préférable à l'addition de poudre de lait.

— Le sucrage donne un goût plus agréable, diminue la sensation d'acidité : addition de lactose, de sucre de malt, etc. (Ajouter à 1 l de lait, 80 g de lactose et 2 p. 100 de miel artificiel, chauffer le tout à 95° C, refroidir et ensementer avec des ferments de yoghourts [43].) L'addition de sucre de canne pour couvrir un goût trop acide n'est pas recommandable, car il en résulte un goût acide, amer-doux.

— Extraits de fruits : l'addition de jus de fruits et de compote fut déjà recommandée en 1909 [24]. Pour que l'arôme des fruits ressorte bien, il est nécessaire avant tout d'avoir un yoghourt peu acide. Il faut ajouter des extraits de fruits ayant un arôme typique, assez fort et pur. Sur le marché on trouve des qualités différentes.

— Présure liquide : L'adjonction de présure liquide est à déconseiller (goût impur, éventuellement caséux).

— Stabilisants et épaississants : une adjonction trop forte en stabilisants peut éventuellement influencer le goût défavorablement.

4) *Cultures.*

— Production de substances d'arômes : sélection des souches ayant un fort pouvoir individuel de production en substances d'arôme ; sélection des souches qui donnent à l'épreuve organoleptique un goût de yoghourt caractéristique, pur, prononcé ; élimination des souches donnant des saveurs « malpropres » et « amères », etc. ; éviter la dégénérescence de la culture. Le manque de développement des lactobacilles donne un yoghourt défavorablement fade, impur et doux [16-6]. Les souches de streptocoques doivent se multiplier rapidement, mais ne doivent pas être trop acidifiantes pour permettre une incubation assez longue, ce qui favorise le développement des lactobacilles.

— Protéolyse (goût caséux, impur) : l'action protéolytique des souches de lactobacilles (celle des streptocoques thermophiles est très faible), ne doit pas être trop forte [45, 22, 51], car la vitesse de la protéolyse dépend en partie de l'acidité du yoghourt et de ce fait elle est accélérée dans un yoghourt trop doux. Il faut donc choisir des souches qui ne sont pas trop fortement protéolytiques et qui pourraient influencer la consistance et l'arôme. Une certaine protéolyse modérée est indispensable pour la symbiose, le bon développement et l'acidification des streptocoques.

— Ferments filants (éventuellement manque d'arôme) : dans l'emploi unique de ferments filants on constate facilement un manque de goût. On peut se demander si l'arôme est éventuellement couvert par celui des substances muqueuses où s'il s'agit d'un manque de production de substances d'arômes. Il faut donc utiliser des cultures séparées de ferments filants et non filants.

— Addition d'autres cultures (arôme non typique) : l'addition d'autres ferments influence l'arôme caractéristique du yoghourt (arôme de culture de beurre).

5) *Fabrication.*

— Acidification : une acidité trop élevée donne au produit une saveur trop acide, non désirée, amère, âcre. Une acidité trop faible, provoque une saveur fade.

— Production de substances d'arôme pendant l'incubation. Manque d'arôme : Un taux d'ensemencement trop faible et température d'incubation trop basse (en dessous de 40° C) font obtenir un arôme fade [50], [6]. Ce qui est favorable pour la production d'arôme, c'est une relation entre lactobacilles et streptocoques de 1 : 1, 2 après l'incubation [6]. Cela dépend aussi de la vitesse de refroidissement [18]. De façon générale on peut dire qu'il faut avoir une présence suffisante de streptocoques et surtout de lactobacilles qui peut par exemple varier entre 70 : 30 et 30 : 70.

— Contamination du lait (goût impur, mauvais) : poudre de lait écrémé avec qualité bactériologique insuffisante [51] ; réinfection du lait après pasteurisation par des ustensiles malpropres. Pour l'ensemencement, en vue d'éviter une infection, il vaut mieux utiliser des levains que des laits fermentés d'une fabrication antérieure [29].

Le développement de levures et de divers autres germes de contamination donne une saveur rance-amère [52-48].

— Refroidissement : une acidité trop grande est due à un refroidissement insuffisant. (La masse intérieure de yoghourt reste trop longtemps chaude). Un manque d'arôme résulte d'un refroidissement trop hâtif, par exemple après 1 h 3/4 d'incubation. Le temps est alors trop court pour former suffisamment de substances d'arômes (développement des lactobacilles). Une incubation plus longue et un refroidissement moins rapide sont au contraire favorables pour la formation d'arôme [42]. Le refroidissement trop rapide, avant 36-40° SH ou 83-90° D, donne éventuellement aussi une saveur insuffisante [37].

L'arôme est meilleur et plus uniforme lors d'un refroidissement égal dans toute la masse au lieu de partiellement (dans le cas de bidons, de l'extérieur vers l'intérieur) [24].

— Emballage (goût impur, très mauvais) : l'emploi des gobelets en matière plastique de mauvaise qualité provoquent l'apparition de substances dissoutes qui proviennent du gobelet même [9]. Il en résulte un mauvais goût qui se développe en fonction du degré d'acidité (plus élevée) et de durée de la conservation.

— Stockage : le stockage à une température au-dessus de 10° C accroît l'acidité. Le stockage sous l'action de la lumière, surtout en conditionnement verre, entraîne un goût défectueux.

B. — *Influences sur la coagulation, la consistance, la viscosité et la séparation du sérum*

Pour obtenir une bonne consistance il faut que l'acidité du yoghourt atteigne et même dépasse le point isoélectrique (pH 4.7 et plus bas). En pratique on estime que le coagulum est assez ferme entre une acidité de 30 à 34° SH (67 à 76° D). Jusqu'à l'obtention de cette acidité il ne faut pas déplacer les récipients.

Il existe des facteurs qui provoquent la coagulation exceptionnellement à une acidité moins basse, au-dessus du point isoélectrique (1)

Les différents facteurs qui provoquent une coagulation au-dessus du point isoélectrique (point isoélectrique apparent), peuvent être ainsi énoncés.

1) *Traitement du lait.*

— Homogénéisation : l'homogénéisation du lait amène le point de coagulation vers un pH 4.9 approximativement, ce qui provoque

une certaine accélération du processus de coagulation, ainsi qu'une plus basse acidité titrable du yoghourt au moment de la coagulation [14].

— Chauffage : chambrage du lait 30 mn à 85-95° C : sous l'influence du chambrage du lait lors de la pasteurisation, des modifications d'ordre biologique et physico-chimique s'effectuent dans le lait. Ces modifications permettent que la coagulation du lait se fasse à une concentration d'ions hydrogène plus faible c'est-à-dire à un pH entre 5.0-5.16. Ainsi se réduit la durée du processus de coagulation d'environ 30 minutes et le lait coagule à une acidité titrable plus basse d'environ 22° SH ou 49° D [12].

2) Fabrication.

— Température d'incubation : à une température d'incubation plus haute il faut moins d'acide pour précipiter la caséine qu'à une température plus basse [39]. Par exemple on obtient une coagulation plus rapide à 50-55° C [29]. La coagulation au-dessus du point isoélectrique présente de l'intérêt pour une amélioration de la consistance (plus ferme) par la possibilité d'un refroidissement hatif en vue de la fabrication d'un yoghourt peu acide. Par l'emploi de ces mesures on ne peut plus apporter une amélioration, car l'homogénéisation et le chauffage sont déjà pratiqués et la température d'incubation ne peut pas être élevée au-dessus de 50° C (développement déséquilibré, mauvaise consistance, etc).

Il serait souhaitable de connaître mieux les différentes causes qui coagulent le lait à un pH plus élevé, ce qui intéresserait surtout l'étude scientifique des facteurs influençant la consistance. On peut se demander si une petite partie de la bonne influence de l'homogénéisation et du chauffage sur la consistance, n'est pas provoquée par ce phénomène.

— La consistance et la viscosité : en ce qui concerne la structure du produit final il faut discerner entre la consistance et la viscosité. La consistance est particulièrement importante pour le yoghourt nature, non brassé et la viscosité l'est pour le yoghourt nature brassé et pour le yoghourt aux fruits. Pour différentes souches où cultures il peut y avoir des différences sensibles de viscosité mais aucune variation dans la consistance. Ceci provient probablement de la production de substances muqueuses. On ne connaît pas encore suffisamment la nature chimique de ces substances formées par les bactéries du yoghourt [37].

— La séparation du sérum : de nombreux facteurs qui améliorent la consistance ont aussi une bonne influence pour empêcher la séparation du sérum.

Les différents facteurs qui influencent la consistance, la viscosité et la séparation du sérum peuvent être ainsi énoncés.

1) *Le lait.*a) *Qualité du lait* [51-38].

— Un yoghourt de bonne consistance se fabrique uniquement avec un lait de bonne qualité (peu acide et peu riche en germes) [6]. Il ne faut pas employer des restes de lait pasteurisé qui n'ont pu être vendus.

— Le lait de mammite a une influence défavorable sur la structure du yoghourt [37].

— Si l'on n'enrichit pas le lait en extrait sec, ce qui est rare, il faut choisir, pour la fabrication, des laits avec la plus haute teneur possible en protéine.

b) *Teneur en extrait sec* [51-38].

— L'augmentation de l'extrait sec du lait a un effet favorable [35]. Le lait de brebis [51-38] employé en Bulgarie a une teneur en extrait sec beaucoup plus élevée (18.6 p. 100) que le lait de vache (12.7 p. 100) [17].

Les indications de la teneur en extrait sec dégraissé en protéine et du poids spécifique varient selon les différents auteurs, qui dépendent de la qualité qu'on veut donner au produit, du prix qu'on fixe et du produit financier qu'on veut en tirer (l'enrichissement avec la poudre de lait écrémé [51-38].

— La législation suisse exige un minimum de 9 p. 100 en extrait sec dégraissé. Les indications de différents auteurs varient entre 9.5-10.5 p. 100 [34] et 10-12 p. 100 [6]. Pour obtenir une qualité supérieure du yoghourt nature il faut plutôt 12-13 p. 100.

— Une teneur en protéines de 3.8 p. 100 doit être considérée comme un minimum [51]. Un yoghourt nature d'une certaine qualité exige une teneur supérieure à 4.5 p. 100.

— L'augmentation du poids spécifique est en fonction directe avec la teneur en extrait sec (surtout lorsqu'on ajoute de la poudre de lait écrémé ou de lait maigre condensé ; ce n'est pas valable pour l'adjonction de crème). On obtient une mauvaise consistance avec un poids spécifique de 1 034 [21-34]. La consistance est sensiblement améliorée avec un poids spécifique de 1 040-1 045 [45].

— Le caillé est d'autant plus ferme qu'il contient d'avantage de matière grasse [31]. Le yoghourt fabriqué avec le lait écrémé n'a pas une bonne consistance [10]. La teneur en graisse ne doit pas être en-dessous de 3 p. 100 [6-51], jusqu'à 3.5 p. 100 [41] ; une haute teneur empêche la synérèse [51].

c) *Certains facteurs individuels.*

— L'équilibre salin (basse teneur en sels minéraux) [51] varie avec la période de lactation, etc., cela n'est pas assez connu [35].

2) *Traitement du lait.*

a) *Stockage du lait.*

— Pour le yoghourt fabriqué avec du lait stocké le caillé est plus ferme qu'avec du lait frais [35-36].

b) *Durée et température de la pasteurisation.*

— Les indications sur la durée et la température de chauffage sont très différentes, car elles dépendent : si on procède seulement à une simple pasteurisation du lait, ce qui n'est pas suffisant, si on concentre en même temps un peu de lait, si on chauffe à une température assez élevée pour détruire des substances inhibitrices naturelles en vue de favoriser la croissance des ferments de yoghourt (*Str. thermophilus*), si on chauffe pour précipiter l'albumine ce qui a pour effet que davantage d'eau soit liée et que la consistance soit améliorée [12-29].

— Un chauffage trop élevé à 110° C, a un effet défavorable [6], également pour le yoghourt brassé [11] ; un chauffage insuffisant diminue la viscosité [51].

— Références : chauffage minimum à 90° C [45] ; chauffage 5-15 mn à 90° C [6] ; chauffage 10-20 mn à 90-95° C [51] ; chauffage 15 mn à 90-95° C [2] ; 30 mn à 85-95° C a donné un caillé avec les meilleures propriétés de rétention d'eau des protéines [13] ; chauffage à 135° C [54].

c) *Homogénéisation.*

— La température d'homogénéisation [14-23-35-37-38-51] ne doit pas être trop élevée et la pression doit comporter environ 200 atmosph. à 55° C.

d) *Concentration du lait.*

— Influence sur la qualité qu'on veut donner au produit (consistance, arôme, etc), sur le prix et le profit qu'on veut tirer de la fabrication.

— Expression du degré de concentration par le poids spécifique : 1 040-1 045 [45-51-50] par le pourcentage : 5-15 p. 100 [41] ; 10-15 p. 100 [6] ; 25 p. 100 [51], par la proportion : 5 à 3 a un effet favorable [44] ; par le volume : en Bulgarie le lait est très concentré jusqu'à la moitié, le plus souvent 2/3 ou 3/4 du volume original. La consistance est très crémeuse épaisse [8]. Commercialement on pourrait considérer un tel yoghourt comme un double ou presque triple yoghourt (double jusqu'à triple teneur en extrait sec d'un yoghourt normal).

3) *Cultures.*

La nature de la culture employée est importante [37], car il y a des cultures qui donnent un yoghourt avec une consistance meilleure que d'autres [6].

a) *Pouvoir protéolytique.*

— Il faut éliminer les souches trop protéolytiques, surtout les souches de lactobacilles [51].

b) *Ferments filants.*

— La production de substances muqueuses a un effet favorable. Si on emploie des ferments filants [51] en trop grande quantité ils peuvent avoir un mauvais effet sur l'arôme.

4) *Additions.*

a) *Poudre de lait écrémé, bien soluble, fabriquée selon le procédé Spray* [6] : emploi à 3 p. 100.

b) *Lait concentré maigre* (voir chapitre précédent).

c) *Substances épaississantes, stabilisantes, etc* : lactalbumine ; gélatine à 0.5 à 1.5 ml pour 100 l de lait [37] ; chlorure de calcium [35] ; gluconate de calcium [47] ; sucre de lait en poudre bien soluble à 3 p. 100 suffit pour augmenter sensiblement la consistance [23] ; combinaison de 3 p. 100 de glucose ou de lactose avec 2 p. 100 de poudre de lait écrémé [45] ; présure liquide (l'onctuosité et le goût défavorablement influencés — consistance farineuse-granuleuse). [36-51].

5) *Fabrication.*

a) *Acidité et acidification.*

— Un ensemencement homogène assure une acidification homogène : si la culture d'ensemencement est mal homogénéisée et répartie, on a des nids de sérum.

— Un ensemencement trop fort peut provoquer la séparation du sérum [50].

— Une acidification trop lente donne éventuellement un yoghourt à consistance granuleuse.

— Acidité finale : consistance meilleure au-dessus de 34° SH-76-5° D où pH 4.7-4.5 [6], moins bonne à pH 5.0 ; meilleure viscosité au-dessus de 31-32° SH-69.7 à 72.0° D ; forte séparation du sérum au-dessus de pH 4.7-4.9 et moins forte ou pas de séparation au-dessus de 31-33° SH/69-70° D [1] à pH 4.5 et plus bas [38] [51].

b) *Température d'incubation.*

— Le coagulum est d'autant plus lisse et doux que la température d'incubation est basse, ce qui provoque une hydratation plus forte des protéines et de ce fait un effet favorable [51]. Apparition d'une consistance granuleuse, grumeleuse pour une température d'incubation moins élevée.

c) *Agitation pendant l'incubation.*

— Il faut éviter d'agiter jusqu'à ce que le yoghourt soit assez bien coagulé (assez ferme avec 32° SH-72° D environ).

— La consistance est meilleure lorsque le refroidissement n'est pas trop brusque [44-50] ; de même la viscosité et la séparation du sérum.

d) *Traitement mécanique du caillé.*

— Brassage : le brassage doit être dosé, pas trop faible et pas trop fort, si on veut éviter une diminution de la consistance [51-11] ; la séparation du sérum est plus forte par introduction d'air et brassage à chaud [51].

— Un pompage vigoureux favorise la séparation du sérum [4].

— Le conditionnement rapide [4], et en récipients grands ou neufs [4] ou lavés avec une solution alcaline [50] n'est pas favorable à la séparation du sérum ; les grands récipients diminuent la viscosité [44].

C. — *Acidité finale et acidification*

1) *Quelle est l'acidité finale d'un yoghourt doux et aromatique ?*

Le yoghourt doux doit présenter une acidité entre 38-40 jusqu'au maximum 45° SH (85 à 101° D) lorsqu'il est préparé avec du lait enrichi d'extrait sec. C'est aussi la concentration optimale d'acide lactique qui permet l'ingestion de la plus grande quantité de yoghourt.

Toutefois l'acidité au moment de la consommation ne doit pas dépasser 45-48° SH [101 à 108° D). Les yoghourts doux du commerce se trouvent le plus souvent à la limite supérieure de l'acidité indiquée. La plus grande partie des autres yoghourts accuse facilement une acidité entre 50-55 et 65-70° SH (112 à 157° D). A partir d'un pH 4.0-4.1 c'est un yoghourt acide [45].

Le consommateur qui aime éventuellement un yoghourt plus acide n'a qu'à le laisser à la température ambiante puisqu'il obtient l'acidité voulue.

2) *Aperçu sur les indications de l'acidité finale depuis 1909.*

Concernant l'acidité finale normale du yoghourt, les points de vue ont toujours été différents, mais, depuis le début, on trouve des auteurs qui insistent sur la fabrication d'un yoghourt doux :

1909 : Morres [24] considère qu'une acidité élevée n'est pas un élément nécessaire d'un bon yoghourt.

1911 : Mumberg [26] insiste pour que le yoghourt soit doux et aromatique.

Oehler [28] analyse 12 yoghourts du commerce qui ont une acidité de 33.3 jusqu'à 51.2, en moyenne 42.2° SH (94.5° D).

1912 : Henneberg [16] considère sous l'influence de la théorie de Metschnikov, une acidité de 22° SH (49.5° D) comme bonne.

1949 : List [50] recommande une acidité finale entre 38-43

1952 : ° SH (85.5-96.7° D).

Nestlé [50] insiste sur la fabrication de yoghourt doux avec une acidité au moment de la consommation qui ne devrait pas dépasser 45° SH (101.2° D).

1965 : Ziegler [51] constate avec raison qu'on a des vues très différentes sur l'acidité normale du yoghourt. Certains fabricants considèrent un yoghourt avec 48° SH (108° D) (pH environs 4.0-4.2) d'autres un yoghourt avec 66-70° SH (148-157° D/pH 3.7) comme normale.

Initialement en Bulgarie on apprêtait le yoghourt à base de lait de brebis : de nos jours encore sa consommation comme son appréciation est supérieure à tout autre. Son acidité est plus masquée [15]. Il faut attribuer ses qualités probablement à la teneur plus élevée en matières sèches (18.6 p. 100) que celles du lait de vache (12.19 p. 100). Quant à la teneur en protéine il en est de même soit 6 p. 100 au lieu de 3.5 p. 100. Du fait de la forte concentration que l'on applique en Bulgarie l'extrait sec augmente considérablement.

Une augmentation de l'extrait sec masque l'acidité. L'acidité d'un yoghourt riche en extrait sec peut être plus élevée et c'est ainsi qu'on recommande une acidité de 40° SH (90° D) pour un yoghourt fabriqué avec du lait normal, et une acidité de 40-45° SH (90-101° D) pour un yoghourt fabriqué avec du lait condensé.

3) Les phases d'acidification d'un yoghourt.

On différencie entre une courte phase de latence, une 4 à 5 fois plus longue phase de croissance et une très longue phase d'acidification ralentie qui a surtout lieu pendant le stockage (causé par l'activité des enzymes carbohydrases).

On peut se demander si l'acidité du départ et la teneur en extrait sec élevée n'influence pas le procédé d'acidification (moins rapide au début, etc.) et si l'acidité initiale élevée n'est pas favorable à la production de substances d'arôme par les lactobacilles.

Les différents facteurs qui influencent l'acidification et l'acidité finale peuvent être ainsi énoncés :

1) Le lait.

Variation par un développement plus ou moins intense de la flore de contamination du lait cru : il existe des variations dans l'acidification selon des saisons (acidification plus forte en période chaude).

Ces variations observées dans l'aptitude du lait à la production d'acide par les bactéries du yoghourt sont expliquées par un développement plus ou moins important de la flore de contamination du lait cru [49].

La présence de substances inhibitrices naturelles dans le lait : La présence de substances inhibitrices naturelles dans le lait peut provoquer des accidents d'acidification de yoghourt et de la culture de yoghourt, faits qui ont été observés dans divers pays. Les streptocoques thermophiles ne se multiplient plus. On lutte contre ce défaut par un chauffage du lait employé pour la préparation de la culture mère à 100° C pendant 45 mn [45]. Souvent l'adjonction d'une petite fraction de lait chauffé à 100° C suffit [22].

2) *Le traitement du lait.*

Un chauffage assez long et au-dessus de 90° C favorise l'acidification (voir 1, 2).

3) *La culture.*

Il faut rechercher des cultures qui n'acidifient pas trop fortement, mais qui sont saines, qui ont une phase de latence courte et une multiplication rapide.

4) *Addition de fruits et d'extraits de fruits.*

Fruits pour le yoghourt brassé : il faut ajouter des fruits de bonne qualité bactériologique, le plus souvent il s'agit de fruits congelés.

Concentré de fruits pour le yoghourt non brassé : les extraits de fruits ajoutés au yoghourt sont acides et provoquent une augmentation de l'acidité, ce qui peut éventuellement entraîner une perturbation dans le processus d'acidification [37]. Aujourd'hui on peut acheter des extraits de fruits désacidifiés par un échangeur d'ions [41], ce qui contribue à la fabrication d'un yoghourt doux. L'arôme est concentrée par des processus de distillation [40].

5) *La fabrication.*

Ensemencement homogène du lait avec des cultures : les cultures ajoutées doivent être bien mélangées [2] pour avoir une acidification uniforme dans tous les récipients et gobelets et dans toutes les parties du récipient.

Rapidité de l'acidification : l'acidification doit se développer assez lentement de façon qu'elle soit au point favorable au moment de la consommation. On règle l'acidification avec des ferments qui ne sont pas trop acidifiants, avec un ensemencement et une température d'incubation propices.

Arrêt de l'acidification par le refroidissement au moment propice, le problème type de la fabrication : l'acidification doit être interrompue lorsqu'elle se trouve en plein essor, c'est-à-dire dans la phase

d'accroissement la plus intense. On recherche comme il suit des lignes précédentes une acidité de 38-40° SH (85-90° D) et si on n'interrompt pas l'acidification, elle se poursuit sans cesse jusqu'à l'acidité de 45-55° SH (101-123° D). Ensuite elle est suivie d'une phase de ralentissement (déviations de la courbe) jusqu'à 70-90° SH (157-202° D). Suivant les possibilités d'installation et de vitesse de refroidissement, on met le refroidissement en route pour une acidité de 27-31-34° SH (60-76° D).

6) *La conservation du yoghourt.*

Le plus grand problème de la conservation est de veiller à ce que la chaîne froide ne soit pas interrompue. Le stockage devrait se faire entre 5-10° C. A cette température le yoghourt peut être conservé au moins 5 jours sans aucune diminution de la qualité [6]. Si la température est trop élevée on risque une suracidification du yoghourt.

Les facteurs qui influencent la conservation sont les suivants :

Cultures : ne doivent pas être trop fortement protéolytiques [46]. La vitesse de la protéolyse dépend de l'acidité et de la température. Elle est accélérée dans un yoghourt peu acide.

Emballage : l'emballage doit protéger de l'influence néfaste de la lumière [51]. Les gobelets en matière plastique doivent être de bonne qualité. L'acide lactique est agressif et il ne doit pas passer de substances chimiques provenant des matières plastiques du gobelet dans le yoghourt. Ceci d'autant moins que la conservation du yoghourt est prolongée et que ces substances donnent un mauvais goût et sont toxiques pour le consommateur.

Asepsie : il faut éviter toute infection des cultures et du lait pasteurisé par les emballages. Les germes indésirables pourraient provoquer un développement de la protéolyse, et comprendre des levures, des moisissures, etc. La croissance de *Geotrichum candidum* (*Oidium lactis*) à la surface du yoghourt provoque un goût caséux (goût de fromage).

IV. Discussion et conclusions générales

1) *Généralités.*

La qualité du yoghourt du commerce dépend : a) de la qualité recherchée, b) du matériel à disposition (installation, machines), c) de la qualité de la concurrence locale, d) du barème légitime des prix où des prix qu'on fixe. De ce fait on voit sur le marché des yoghourts de qualité très diverse et très inégale.

La fabrication d'un yoghourt d'excellente qualité exige davantage de soin, plus de contrôle, un enrichissement en extrait sec plus fort, ce qui justifiera toujours un prix plus élevé par rapport avec un yoghourt de qualité médiocre où moyenne.

En principe un yoghourt doux a une acidité d'environ 40° SH (90° D), ce qui est favorable pour sentir l'arôme typique du yoghourt. Cette acidité représente aussi la concentration optimale d'acide lactique, qui permet l'ingestion de la plus grande quantité de yoghourt.

La fabrication de yoghourt est l'objet d'études d'adaptation selon les tendances nouvelles et les procédés modernes de fabrication qui seront traités dans des communications ultérieures.

Les différents facteurs susceptibles d'influencer la qualité du yoghourt sont traités ci-après.

2) *L'acidification.*

Concernant la fabrication de yoghourt doux la recherche d'une acidité normale, la possibilité de guider et d'arrêter l'acidification au point le plus intense demeure un problème de premier ordre.

Les principaux facteurs qui influencent l'acidification lors de la fabrication peuvent se résumer comme suit : 1) Le lait doit permettre une acidification normale, 2) Les ferments ne doivent pas être comme on a admis jusqu'à maintenant le plus acidifiant que possible, mais être sains et se multiplier rapidement ; 3) Les fruits et extraits de fruits éventuellement ajoutés ne doivent pas être trop acides ; 4) Pendant la préparation, l'acidité ne doit pas se développer trop rapidement. Le problème principal consiste dans le refroidissement au moment propice et par l'emploi des moyens efficaces ; 5) Le stockage doit être tel que la chaîne froide ne soit pas interrompue jusqu'au moment de la consommation.

Les problèmes à étudier seraient les suivants : a) Meilleure connaissance et meilleure sélection des souches et des cultures. Pas trop acidifiant à haute comme à basse température. Causes et influences sur la perte d'activité provenant du milieu de culture et de la domestication ; b) Le problème de la conservation limitée. Le plus grand problème est comment on peut prolonger la durée de conservation du yoghourt. Pourquoi l'acidité augmente pendant la conservation à basse température (activité des carbohydrases, influence de la caséine, des sels minéraux, etc.)

Nous reviendrons sur ces problèmes.

3) *La consistance.*

On peut dire que la fabrication d'un yoghourt doux n'exclut pas un produit de bonne consistance et que la technique de fabrication n'est pas de ce fait compliquée.

Les facteurs qui influencent la consistance, la viscosité et la séparation du petit-lait se groupent comme suit : 1. Les facteurs qui provoquent un épaissement : a) un épaissement naturel par une augmentation de l'extrait sec total ou extrait sec dégraissé, b) par l'emploi de substances épaississantes. 2. Meilleure répartition de graisse

par homogénéisation. 3. Emploi de substances stabilisantes empêchant la séparation du petit-lait. 4. Hydratation (gonflement) des micelles de caséine par un refroidissement approprié. 5. Vieillessement des colloïdes du lait par le stockage et par un chargement dans l'équilibre salin. 6. Traitement mécanique du caillé et emballage. 7. Vitesse de l'acidification.

L'étude des problèmes se conçoit de façon suivante : 1) Meilleure connaissance de l'influence de l'équilibre salin et du vieillissement des colloïdes du lait par un stockage. 2) Meilleure étude de la vitesse d'acidification sur la consistance, dureté ou fermeté du coagulum. 3) Le problème de la séparation du petit-lait n'a pas été beaucoup travaillé. 4) L'établissement des tableaux de fabrication aurait pour but d'indiquer la manière d'arriver au même produit final avec des techniques différentes de préparation (dans quelle limite on peut varier l'extrait sec, le chauffage, teneur en graisse, etc.) Ceci répondrait aussi à l'intérêt des pays où l'industrie laitière est en développement. 5) Meilleure connaissance des causes, qui provoquent la coagulation du yoghourt à un pH plus élevé.

A défaut d'une étude complète des influences de la consistance, on peut cependant affirmer qu'une fabrication normale et soignée garantit un produit de bonne qualité.

4) *L'arôme.*

L'arôme est beaucoup plus difficile à obtenir que l'acidité et la consistance normale. L'arôme et un manque d'arôme se remarquent davantage dans un yoghourt doux que dans un yoghourt acide.

L'arôme typique du yoghourt bulgare est en fonction de tout un ensemble de facteurs : des substances d'arôme produites, de l'acide lactique présent, de l'extrait sec et de la matière grasse homogénéisée.

Les principaux facteurs qui influencent l'acidification peuvent se résumer comme suit :

A) *Yoghourt nature.*

1. La nature de la culture et du lait. 2. La fabrication proprement dite (quantité d'ensemencement, l'incubation, le refroidissement). 3. L'augmentation de l'extrait sec et une teneur suffisante en matière grasse masque l'acidité. 4. Homogénéisation. 5. Le conditionnement.

B. *Yoghourt aux fruits ou aux extraits de fruits.*

1. L'acidité finale. 2. La qualité de l'extrait de fruits. 3. L'augmentation de l'extrait sec et l'homogénéisation du lait masquent l'acidité. 4. Le conditionnement.

Pour le yoghourt aux fruits et le yoghourt aromatisé, la formation de substances d'arôme par les souches et les facteurs techniques

qui favorisent cette production ne jouent ici aucun rôle, car l'arôme doit être fourni par les fruits.

Les problèmes à étudier seraient les suivants : 1) La composition chimique exacte de l'arôme est à mieux connaître, ce qui serait intéressant notamment pour le contrôle de la formation d'arôme par les souches à l'aide de tests chimiques. 2) Il serait souhaitable de mieux connaître le mécanisme de la formation de l'arôme.

Ces études devraient être basées sur les besoins pratiques et donner de meilleures connaissances pour la lutte contre le défaut de manque d'arôme : a) Connaître mieux l'intervalle exact de l'acidité ou l'arôme se forme. Quelle influence à une acidité élevée de départ ? b) L'influence de la température sur la formation d'arôme. c) Quel est le développement et le nombre minimum des lactobacilles nécessaires pour que la formation d'arôme ait lieu. d) Eventuellement contribution des streptocoques à la formation d'arôme.

Entre temps la pratique nous a montré depuis longtemps qu'une production normale en substances d'arôme exige la mise en valeur des règles connues pour une fabrication de yoghourt.

Pour la fabrication en quantité importante, le choix des machines et des installations joue un rôle de premier plan.

Il s'agissait ici de donner un aperçu critique sur les principes généraux ; les communications ultérieures traiteront de sujets plus spécialisés.

(Reçu le 28 février 1967.)

Summary

It is reported in a critical review about biotechnological principles on the manufacturing of a mild and aromatic yoghurt and problems concerning this question.

The most important factors which influence the consistency, the viscosity, the separation of whey, the acid production and the flavour production are summarized through an extensive literature, and new technological points of view have been worked out.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ALAIS (Ch.). Science du lait. Principes des techniques laitières. Editions SEP, Paris-1^{er}, 2^e éd. (1965).
- [2] BACHMANN (H.). Die Technik der Joghurtherstellung. Molkerei-Zeitung 7, 1425-1426 (1953). Ref. Manuale Lactis, II. Folge, Klasse 6, p. 45.
- [3] BAUMGÄRTEL (Th.). Die Anwendung von Mikrobenkulturen in der Milchwirtschaft. VI. Herstellung von Sauermilchspezialitäten. *Milchwirtschaftliches Zentralblatt*, Schaper, Hannover, 67, 87 (1938).
- [4] BERTELSEN (M. E.). L'incubation du lait, comment la réaliser. *FIL Annual Bulletin* (1964), Partie III, p. 94-107.
- [5] CAMUS (A.). Les laits fermentés. *Le Technicien du lait et de ses dérivés*, avril (1960).

- [6] CIBLIS (E.) et SCHMALL (Chr.). Essais destinés à l'amélioration de la qualité du yoghourt. *Kieler Michw. Forschungsberichte* **13**, 77-102 (1961).
- [7] DEMETER (K. J.). Zum Problem « Bioghurt ». *Deutsche Molkerei-Zeitung* Nr. 42 (1960).
- [8] FLEISCHMANN (W.) et WEIGMANN (H.). Lehrbuch der Milchwirtschaft (1932). Verlag Paul Parey, Berlin, 7 éd. p. 37.
- [9] FLÜCKIGER (E.). Moderne Joghurtverpackung in kritischer Sicht. *Schweiz. Milchzrg.* Nr. 38, p. 233 (1961).
- [10] GALESLOOT (Th. E.). Recherches sur la consistance du yoghourt. *Nedel. Melk-en Zuiveltijdschr.*, vol. XII, n° 2, p. 130-165 (1958). Ref. *Le Lait* **48**, 323-324 (1960).
- [11] GAVIN (M.). Méthodes rapides de contrôle du yoghourt brassé. XVII^e Congrès international de laiterie, Munich (1966), section F.5, p. 663.
- [12] GRIGOROV (H.). Influence des variations du traitement thermique du lait de vache sur la durée du processus de coagulation sur le pH et sur l'acidité titrable du lait caillé bulgare (yoghourt). XVII^e congrès international de laiterie E/F, p. 634-647 (1966).
- [13] GRIGOROV (H.). Influence du traitement thermique du lait de vache sur les propriétés de rétention d'eau dans les protéines du yoghourt bulgare. XVII^e congrès international de laiterie, E/F, p. 649-654 (1966).
- [14] GRIGOROV (H.). Rapports entre le traitement thermique et l'homogénéisation du lait de vache et leur influence sur la qualité et les propriétés hydrophiles de la protéine du yoghourt bulgare. XVII^e congrès international de laiterie, E/F (1966).
- [15] GUIRGUINOV (T.). Quelques particularités de la technologie et des qualités alimentaires et diététiques du yoghourt bulgare. *La Technique laitière*, n° 276, p. 23-29.
- [16] HENNEBERG (W.). Natürliche Reinzucht und die Yoghurtbereitung. Ein Beitrag zur Charakteristik der Trocken- und Flüssigkeitskulturen der Yoghurtpilze. *Ztschr. f. Spiritusindustrie* n° 30-32 (1912). *Centralbl. f. Bakt.* II. Abt. **34**, 298-302 (1912).
- [17] KÄSTLI (P.). Milchkunde und Milchhygiene. I. Teil. Wesen und Eigenschaften der Milch. Buchverlag Verbandsdrackerei AG Berne, p. 24 (1963).
- [18] KURMANN (J. A.). L'influence de la température de conservation sur la culture mère du yoghourt. *Schweiz. Milchztg.* Nr. 45, *Le Laitier Romand*, n° 45, p. 363 (1966). *L'Industrie laitière*, n° 234, p. 341-453 (1966).
- [19] KURMANN (J. A.). L'épreuve de la réductase au bleu de méthylène, un test d'activité simple pour la préparation et l'analyse des levains de streptocoques lactiques dans la fabrication des fromages. *Le Lait*, n° 457, p. 395 (1966). *Schweiz. Milchzeitung* n° 75, *Le Laitier Romand*, n° 75, p. 595 (1966).
- [20] KUZDZAL-SAVOIE (S.) et MOCQUOT (G.). Méthodes d'appréciation des caractères organoleptiques des produits laitiers. Méthodes subjectives et objectives d'appréciation des caractères organoleptiques des denrées alimentaires. Centre National de la Recherche Scientifique, 15, Quai Anatole-France, Paris, p. A335-370 (1966).
- [21] LEISTNER (W.). Die Qualität von Joghurt und ihre Erhaltung. *Dtsch. Milchwirtschaft* **2**, 38 (1955). Ref. *Manuale Lactis*, II. Folge, Kl. 6, p. 49.
- [22] MILLER (I.), MARTIN (H.), KANDLER (O.). Das Aminosäurespektrum von Yoghurt. *Milchwissenschaft* **19**, 18-25 (1964).
- [23] MOHR (W.), EICHSTÄDT (A.) et MATTI (L.). De la consistance du yoghourt. *Molkerei-Zeitung*, Hildesheim **47**, 61-64 (1933). *Le Lait*, **15**, 284 (1935).

- [24] MORRES-FRIEDLAND (W.). Die Bereitung von Yoghurt. *Milch-Zeitung*, Leipzig, **38**, 497. (1909).
- [25] MOSIMANN (W.). Verfahren zur Herstellung von Joghurt-Erzeugnissen. Dtsch. Pat. 864'506 (1952). *Milchwissenschaft* **8**, 106 (1953). Manuale Lactis II. Folge, Klasse 6, p. 35.
- [26] MUMBERG (C.). Ein Beitrag zur Förderung des reellen Yoghurt-Geschäftes. *Milch-Zeitung*, Leipzig, p. 137 (1911).
- [27] N.I.Z.O. (Nederlands Instituut voor Zuivelonderzoek). Yoghurt. *Jaarsverlag*, 1963 de N.I.Z.O., p. 10, Manuale Lactis, II. Folge, Klasse 6, p. 36.
- [28] OEHLER (R.). Ueber Joghurtkontrolle. *Centralbl. f. Bakt.* II. Abt. **30**, 149-154 (1911).
- [29] PARASCHTSCHUK (S.). Zur Fabrikation von Yoghurt. *Milchwirtschaftliches Zentralblatt*, Schaper, Hannover, **65**, 66-67 (1936).
- [30] PETTE (J. W.) et LOKEMA (H.). Die Herstellung von Joghurt. *Meded. Nederl. Inst. Zuivelonderzoek* **1**, 32 (1950). Manuale Lactis II. Kl. 6, p. 51 (1957).
- [31] PETTE (J. W.) et LOKEMA (H.). Yoghourt I, Symbiose et antibiose dans les cultures mixtes du Lb. bulgaricus et Sc. thermophilus. *Nederl. Melk-en Zuiveltijdschr.* n° 3, juillet septembre, **4**, 197-208 (1950).
- [32] PETTE (J. W.) et LOKEMA (H.). Yoghourt II. Facteurs stimulant la croissance de St. thermophilus. *Netherl. Milk-en Zuiveltijdschr.* **4**, 209-224 (1950).
- [33] PETTE (J. W.) et LOKEMA (H.). Yoghurt III. Zuur vorming en Aromavorming in Yoghurt. *Melk-en Zuiveltijdschr.* **4**, 261-273 (1950).
- [34] PETTE (J. W.) et LOKEMA (H.). Joghurt IV. Das Verhältnis der Bakterienarten im Joghurt. *Nederl. Melk-en Zuiveltijdschr.* **5**, 14-26 (1951). *Milchwissenschaft* **6**, 333 (1951).
- [35] PETTE (J. W.) et LOKEMA (H.). Yoghourt V. Fermeté et séparation du sérum dans le yoghourt. *Nederl. Melk-en Zuiveltijdschr.* **5**, 27-45 (1951).
- [36] PETTE (J. W.). Le yoghourt et ses problèmes. *Kieler [Milchwirtschaftliche Forschungsberichte]*, vol. IX, fasc. 2, p. 177-190 (1957). *Le Lait* **39**, 98-99 (1959).
- [37] PIEN (J.). Séminaire international sur les laits fermentés. *Compte rendu. L'industrie laitière*, p. 35-47 (1964).
- [38] PUHAN (Z.). Die Molkenlässigkeit von Joghurt. *Schweiz. Milchztg.* N° 33, p. 205 (1964).
- [39] SCHWEITZER, d'après Vas. *Le Lait* **4**, 626 (1924).
- [40] SIEGENTHALER (E.). Die Fabrikation von Fruchtjoghurt in der Schweiz. *Molkerei-u. Käse-Ztg.* **16**, (10) 334-335 (1965).
- [41] SIEGENTHALER (E.) et RITTER (P.). Standardisation du lait en vue de sa transformation en lait fermenté. *L'industrie laitière*, p. 39 (1964). *Annual Bulletin FIL*, rapport n° 5, p. 54-59 (1964).
- [42] SCHULZ (M. E.). Joghurt und Joghurt-Kulturen. *Milchwissenschaft* **4**, 206-215 (1949).
- [43] SCHULZ (M. E.). Verfahren zur Herstellung von Sauermilchprodukten mit verbesserter Qualität und langer Haltbarkeit. Brevet allemand. *Milchwissenschaft* **7**, 132-134 (1952).
- [44] SCHULZ (M. E.). Die Technologie von sauren Milcherzeugnissen insbesondere der Sauermilcharten und Sauerrahmarten. *Milchwissenschaft* **18**, 443-454 (1963).
- [45] SCHULZ (M. E.). Das grosse Molkerei-Lexikon Vol. I, p. 464 (1965).
- [46] SCHULZ (M. E.) et VOSS (E.). Die Haltbarkeit von Joghurt. *Kieler Milchwirtsch. Forschungsber.* **8**, 1-9 (1956).
- [47] TCHILINGUIRIAN (V.). Yoghurt enriched with calcium. French Pat. 1, 237, 357 (1960). *Dairy Science Abstr.* **27**, 65 (n° 419) (1965).
- [48] THIEULIN (G.) et VUILLAUME (R.). *Eléments pratiques d'analyses et d'inspection du lait*. 2 éditions; *Le Lait*, Paris (1967), 166 et 263.

- [49] VASSAL (L.) et AUCLAIR (J.). Variation de la production d'acide par les bactéries du yoghourt dans les laits de grand mélange. XVII^e congrès international de laiterie, E/F, p. 669-675 (1966).
 - [50] Yoghourt. Hinweise zur Herstellung. *Deutsche Molkerei-Zeitung* 17/1949, 24/1950, 6/1951 et 7/1952).
 - [51] ZIEGLER (H.). Ueber die Erzeugung von Joghurt mit Fruchtzusätzen. *Michwirtschaftliche Berichte aus den Bundesanstalten Wolfpassing und Rotholz*, Folge 4, p. 62-68 (1965).
 - [52] ZOLLIKOFER (E.) et HOFER (H.). *Praktische Anleitung zur Weichkäseerei*, p. 113 (1947).
 - [53] Zutphen (Hollande), Laboratorium G.O.Z. Ein Joghurt-Problem. der Einfluss der Flasche auf die Konsistenz. *Off. Org. Koninkl. Nederl. Zuivelbond* 47, 368 (1955) ; *Manuale Lactis*, II. Folge, Klasse 6, p. 48.
 - [54] STORCK (W.). La fabrication de yoghourt avec du lait homogénéisé et chauffé à 135° C. *Molkerei-und Käseerei-Zeitung* 15, 1291-1292 (1964).
-