des races déjà très perfectionnées dans leur pays d'origine, nous ont devancés, mais nous avons en France de bons atouts en mains et si nous savons convenablement nous en servir, je ne doute pas que nous ne parvenions à brève échéance à égaler les résultats obtenus dans le Nouveau Continent.

FACTEURS INFLUENÇANT LA COAGULATION DU LAIT PAR LA CHALEUR,

par

ALAN LEIGHTON,

et

E.-F. DEYSHER,

Physico-chimiste

Chimiste assistant

au Laboratoire de Recherches Laitières du Bureau de l'Industrie Animale
(Département de l'Agriculture des États-Unis).

Dans l'étude qui va suivre, nous avons eu l'intention, tout en examinant certains facteurs influençant la coagulation du lait par la chaleur, d'insister particulièrement sur l'effet du temps et de la température du chauffage sur la stabilité vis-à-vis de la chaleur des laits évaporés et condensés. Nous donnerons aussi des renseignements importants en formulant une théorie de la coagulation par la chaleur.

Les travaux décrits plus loin ont tous été effectués avec des laits écrémés mélangés provenant de la ferme du Département de l'Agriculture des États-Unis à Beltsville, Md. Les résultats trouvés n'ont pas encore été contrôlés par comparaison avec des laits d'autres origines; mais ces résultats, à l'exception de ceux concernant les températures de chauffage les plus basses, ont été obtenus dans des essais presque journaliers, pendant une durée de 2 ans et plus. Comme d'habitude, le terme « lait évaporé » indique ici un produit condensé et non sucré, tandis que le terme « lait condensé » indique le lait condensé auquel du sucre a été ajouté.

Avant de discuter la stabilité vis-à-vis de la chaleur des laits évaporés et condensés, nous devons indiquer que LEIGHTON et MUDGE ont apporté de nombreuses preuves du fait que, dans la coagulation du lait par la chaleur, le calcium et le magnésium du lait sont précipités à l'état de phosphates et de citrates, et que la réaction est endothermique. Ils sont arrivés à ces conclusions du fait que si un sérum artificiel est préparé suivant la formule de VAN SLYKE, le calcium et le magnésium sont précipités par la chaleur avec une absorption marquée de chaleur au moment de la coagulation. Ils en concluent aussi que le calcium contenu dans la protéine est impliqué

dans cette réaction, puisque la quantité de chaleur absorbée obtenue avec le sérum artificiel ne peut pas être rendue égale à celle obtenue avec le lait, à moins qu'il n'existe dans le sérum une quantité de calcium ajoutée équivalente à celle qui est normalement combinée à la protéine du lait. Ils ont aussi montré que le mécanisme de la réaction qui cause l'épaississement des laits condensés aux températures ordinaires est essentiellement le même que celui de la coagulation à haute température, aussi bien des laits évaporés que des laits condensés. Ceci est prouvé par les faits suivants :

Quand, du lait évaporé, ou du lait condensé, sont coagulés à haute température, on peut prouver que la réaction endothermique a lieu. Si nous notons le temps nécessaire pour produire l'épaississement dans le lait condensé aux températures très différentes qui sont considérées, et si nous traçons une courbe (fig. 1), nous voyons que nous obtenons une courbe régulière, indiquant que nous avons constamment la même réaction. En outre, si nous prenons ces chiffres de l'épaississement dans le lait condensé et rapportons d'une part les logarithmes des temps et, d'autre part, les températures, nous obtenons une ligne droite. En continuant cette ligne droite, nous voyons que le temps qui correspond à 95 degrés de température est 7 minutes 1/2. Cette durée représente à peu près le temps qui est réellement nécessaire pour épaissir le lait à 95 degrés, température à laquelle l'absorption de chaleur commence sur nos courbes, ainsi qu'on le verra plus loin. En d'autres termes, la précipitation du calcium et du magnésium a lieu aussi bien à des températures basses qu'à des températures élevées,

La nature endothermique de la réaction de coagulation peut être

démontrée de deux façons différentes. Nous pouvons choisir une température tellement élevée avec un bain-marie d'huile à température constante, que si un autoclave contenant le lait y est plongé, le lait se coagulera avant que la température du bain-marie ne soit atteinte. Si nous mesurons périodiquement la température du lait, disons chaque minute, nous pourrions tracer une courbe de la température par rapport aux temps. La partie supérieure d'une telle courbe obtenue avec du lait écrémé normal est donnée dans la figure 2-A. Si, par comparaison, nous traçons aussi une courbe des températures atteintes quand on met de l'eau au lieu de lait dans l'autoclave, nous notons qu'il y a un aplatissement très net de la courbe du lait. Des essais répétés ont montré que l'aplatissement de la courbe coïncide avec la coagulation. Nous pouvons aussi choisir une température au bain-marie suffisamment basse pour que le lait ait le temps d'atteindre la température du bain d'huile avant que la coagulation n'ait lieu. Dans ce cas (figure 2-B), nous notons qu'il y a une légère chute de température qui a lieu en même temps que l'apparition d'une coagulation visible. Pour les laits normaux, cette chute peut être de 0,05 à 1,5 degrés. La valeur la plus basse est la plus commune. Dans ces expériences, un autoclave en acier contenant à peu près 125 cm³ de lait fut employé. Ces températures furent mesurées avec un couple thermo-électrique cuivre-constantan à soudures et un potentiomètre Leed's-Northrup type K.

Si nous choisissons une température de bain-marie d'environ 130°, les laits évaporés et condensés coagulent rapidement, et nous avons des conditions favorables pour déterminer la stabilité de ces laits en mesurant l'absorption de chaleur. Ils caillent trop rapidement pour

nous permettre de déterminer l'instant précis auquel la coagulation commence. Cependant, puisque le montant de l'absorption de chaleur sera proportionnel au degré de coagulation à un moment donné, la température atteinte dans l'autoclave à un moment favorable arbitrairement choisi servira d'indication de la stabilité du lait. Dans le présent travail, la stabilité de la majorité des laits condensés et évaporés a été jugée par cette méthode, en choisissant 9 minutes comme étant la durée arbitraire du chauffage. Ces valeurs ont été contrôlées, en ce qui concerne les laits évaporés, par une série d'essais dans le stérilisateur et avec des laits condensés par quelques essais « accélérés » de conservation à 50° C.

Fig 3

Les laits condensés préparés dans un but expérimental étaient concentrés pour avoir 48 % de sucre, 20 % de matières solides autres que de la matière grasse, et 32 % d'eau. Pour qu'il y ait un rapport direct entre les laits condensés et évaporés dans les essais d'absorption de chaleur, les laits évaporés furent concentrés de façon à ce qu'il y ait la même proportion de matières solides autres que la matière grasse par rapport à l'eau que dans les laits condensés. C'est pourquoi les laits évaporés contenaient 38,4 % de matières solides autres que la matière grasse et 61,6 % d'eau. Dans les essais au stérilisateur, le produit usuel contenant 48 % de matières solides autres que la matière grasse fut employé.

Nous pouvons maintenant montrer (fig. 3) l'effet du chauffage sur la stabilité des laits condensés et évaporés par rapport à la chaleur. L'abscisse représente le temps du chauffage, l'ordonnée la température

atteinte en 9 minutes quand les laits étaient placés dans l'autoclave et immergés dans un bain-marie d'huile à une température de 130° . Du fait que la courbe pour chaque température de chauffage, à une ou deux exceptions près, semble rester dans la zone qui lui est propre, il apparaît de suite que la température de chauffage est le facteur principal qui détermine la résistance à la chaleur, aussi bien des laits évaporés que des laits condensés. La durée du chauffage n'est pas très importante, quoiqu'elle ne doive pas être négligée.

En examinant les courbes des laits condensés, nous voyons qu'un chauffage à 65° stabilise le produit fini un peu au-dessus du produit non chauffé. A 75° , il y a aussi une légère augmentation, mais à 85° une diminution commence qui est très marquée à 95° . Une augmentation de stabilité a lieu quand on chauffe à 110 ou 120° .

EFFETS DE LA TEMPÉRATURE DU PRÉCHAUFFAGE Fig. 4
LAIT CONCENTRÉ SUCRÉ

Les courbes pour les laits évaporés sont pratiquement inverses de celles des laits condensés. Ce produit chauffé à 65° est légèrement moins stable que le produit non chauffé. La stabilité augmente ensuite par un chauffage à 95° , où elle est près d'un maximum et diminue ensuite à 110 et 120° .

Les relations entre les températures de chauffage peuvent peut-être être mieux montrées si nous combinons ces données dans une courbe dans laquelle nous traçons la température de chauffage par rapport à la stabilité, fig. 4.

Il est évident que les courbes des laits condensés et évaporés sont presque inverses, c'est-à-dire que les unes sont aux autres comme si elles étaient reproduites dans un miroir. Le seul facteur qui puisse entrer en ligne de compte pour expliquer la différence entre ces laits, outre l'effet de dilution du sucre, est son effet chimique. Pour étudier

cet effet chimique du sucre, on a préparé une première série de laits condensés de la manière habituelle. Dans une seconde série, le sucre de canne ne fut ajouté qu'après le chauffage. Dans une troisième série, le sucre fut ajouté après évaporation. La série de contrôle fut un lait évaporé. La stabilité de ces échantillons fut déterminée pour du lait non chauffé, et pour des chauffages à 93, 110 et 120°. Ces courbes sont données dans la fig. 5. Il apparaît de suite que le sucre exerce son effet dans l'évaporation aussi bien chez le lait évaporé que chez le lait condensé. Son effet est d'instabiliser le produit chauffé à 93°, et de stabiliser celui chauffé à 120°.

1. Lait concentré sucré.
2. Lait concentré additionné de sucre après le préchauffage.
3. Lait concentré non sucré additionné de sucre.
4. Lait concentré non sucré.

Or, il a été indiqué que l'absorption de chaleur, particulière à la coagulation, provient de la précipitation du calcium et du magnésium. Puisque le sucre de canne peut réagir avec le calcium, et puisque certains sels de calcium et de magnésium se dissolvent dans une solution de sucre, il s'ensuit que nous pouvons chercher l'effet du sucre dans son action sur les sels métalliques du lait.

Etant donné qu'il est évident que la température du chauffage est un facteur très important dans la concentration du lait, il est probable qu'il existe un équilibre salin dépendant de la température. Cette hypothèse est renforcée par quelques expériences rapides sur du lait passé sur un adoucisseur d'eau à la zéolithe, qui nous a été gracieusement fourni par la « Permutit Company » de New-York City. Cet appareil substituerait probablement le sodium au calcium et au magnésium du sérum de lait. Etant donné que les pores de la permutite sont facilement bouchés par des matières albuminoïdes, il

est presque impossible de régler le degré de cette substitution. Toutefois, un fait paraît définitivement établi, et qui est que le traitement produit un lait évaporé qui est moins stable à la chaleur que ne l'est un échantillon non traité et non chauffé. Toutefois, si le lait est chauffé après traitement, sa stabilité est pleinement comparable à celle d'un lait chauffé et n'ayant pas été traité avec un adoucissant. L'équilibre salin est évidemment rétabli par le traitement à la chaleur.

En examinant l'effet du chauffage sur l'équilibre salin du lait, il a semblé probable que les mesures de pression osmotique pouvaient jeter quelque lumière sur ces changements. La méthode indirecte du point de congélation a semblé la meilleure pour cette détermination. Aucune différence n'a été trouvée entre les points de congélation des laits chauffés aux différentes températures au-dessus de 65°. Le lait chauffé à 65° a un point de congélation identique à celui du lait non chauffé; les laits à 85, 95, 110 et 120°, d'un centième de degré supérieur au lait normal. Un centième de degré représente environ 2 % de l'abaissement total. Ceci semblerait alors indiquer qu'un changement, représentant environ 2 % du nombre total d'ions et de molécules existant dans le lait primitif, est produit par le chauffage. Toutefois, les résultats ne jettent aucune lumière sur notre problème.

Il a été également exposé, par le Dr HOLM, dans nos Laboratoires, qu'ordinairement le chauffage d'un lait normal rend le lait non concentré moins stable à la chaleur, mais si le lait est concentré après avoir été chauffé à environ 95 degrés pendant 10 minutes, on atteint apparemment toujours un point où, dans le lait concentré, le produit chauffé devient plus stable que celui non chauffé. Il est intéressant de noter que les laits chauffés et non chauffés ont une stabilité égale à une concentration de 12 à 13 % de matières solides autres que la matière grasse. Des travaux plus récents sur le chauffage du lait normal semblent montrer que l'effet d'un chauffage d'une durée de 10 minutes à des températures différentes allant jusqu'à 120 degrés, est de rendre le lait non concentré moins stable à la chaleur dans le stérilisateur, mais qu'il n'y a pas d'écarts sensibles entre les laits chauffés à 65, 75, 85, 95, 100, 110 et 120 degrés. Ceci concorde avec les mesures de pression osmotique, mais à nouveau, aucune lumière n'est jetée sur l'effet exercé par le chauffage sur l'équilibre salin. Il est apparent que les changements amenés par le chauffage sont très faibles, et que leur effet sur la stabilité des laits à la chaleur ne peut pas être démontré sans concentration. La détermination de ces changements est un problème dont la solution reste encore à trouver.

Si nous devons examiner d'autres facteurs exerçant une influence sur la stabilité à la chaleur du lait évaporé et du lait condensé, nous devons naturellement mentionner l'acidité, la concentration et

l'équilibre salin. Nous ne possédons pour le moment aucun renseignement précis à présenter sur ces facteurs. SOMMER et HART exposent qu'il y a apparemment un rapport optimum entre les ions de calcium et magnésium, et les ions de phosphate et citrate favorables à une stabilité maximum dans le lait normal. Dans une étude ultérieure, SOMMER prétend qu'il en est de même pour les laits évaporés. Toutefois, ROGERS, DEYSHER et EVANS ont démontré que la valeur de l'équilibre salin, déterminée analytiquement dans le lait normal, est inutile comme indication de la stabilité à la chaleur du lait évaporé provenant de cet échantillon normal. Leur conclusion est que l'équilibre salin, bien que constituant un facteur, n'est en aucune façon le facteur principal, puisque des laits, ayant un même équilibre salin, ont réagi différemment à la chaleur. Nous ne pouvons admettre les résultats de SOMMER comme concluants, jusqu'à ce que nous en sachions un peu plus en ce qui concerne l'effet des différents ions sur la précipitation de la caséine. Il est clairement indiqué par BANCROFT dans son ouvrage qu'un colloïde, qu'il soit négatif ou positif, peut adsorber des ions négatifs aussi bien que positifs. Si le colloïde est négatif, les ions négatifs le stabilisent, tandis que les ions positifs l'instabilisent, et *vice versa*. Il s'ensuit que les résultats doivent varier considérablement suivant la nature du sel de calcium additionné. A notre avis, SOMMER a accordé trop peu d'attention à ce point.

Résumons maintenant ce que nous savons de la coagulation par la chaleur :

Lorsque la coagulation a lieu, il y a précipitation de calcium et de magnésium à l'état de phosphates et citrates, avec absorption de chaleur.

Plus les propriétés de résistance à la chaleur du lait sont fortes, moins la valeur et la vitesse de cette précipitation sont importantes.

Le chauffage exerce une influence sur la stabilité du lait, tant évaporé que condensé.

La température du chauffage est le facteur le plus important. La durée est de moindre importance.

Le sucre de canne du lait condensé modifie les effets du chauffage.

Il semble possible qu'un équilibre salin soit établi par le chauffage et varie suivant la température. Le sucre peut avoir une influence sur cet équilibre en réagissant avec les métaux ou en dissolvant des sels de calcium ou de magnésium qui seraient autrement insolubles.

L'effet du chauffage sur du lait normal est de l'instabiliser. L'effet sur la stabilité des différentes températures de chauffage, exposé dans ce mémoire, est trop réduit pour être mesuré dans le stérilisateur sans concentration, bien qu'il se présente très nettement dans les laits concentrés.

Il se produit un changement dans la pression osmotique des laits normaux lors du chauffage.

Comme on pouvait s'y attendre, la concentration du sérum et de la protéine est un facteur de stabilité. Ceci a été démontré par d'autres auteurs.

Sans autres renseignements, il est presque impossible d'exposer une hypothèse adéquate de la coagulation qui tienne compte de tous ces faits. Il existe un certain nombre de possibilités en ce qui concerne la nature de la réaction. Il est possible que la protéine elle-même soit modifiée par la chaleur, par réaction avec les sels, ou même par réaction avec l'eau présente. Il paraît plus probable aux auteurs que la réaction soit de nature colloïdale, et le caillage proprement dit peut être dû aux changements d'équilibre ionique amenés par des réactions des sels du lait. Une combinaison des deux hypothèses peut naturellement être considérée comme raisonnable.

Nous devons faire remarquer qu'étant donné que la caséine du lait se trouve dans le sens alcalin de son point iso-électrique, elle sera stabilisée par les ions négatifs et instabilisée par les ions positifs. Vu le pouvoir d'adsorption spécifique de la caséine, nous supposons que les différents sels agissent différemment ; par exemple, le chlorure de calcium peut, dans certains cas, avoir une puissance de précipitation plus grande que le phosphate de calcium. De ces faits et du fait que le calcium et le magnésium sont précipités, lorsque le lait se coagule, nous croyons qu'une étude minutieuse de l'équilibre salin du lait contribuera beaucoup à l'explication des phénomènes de la coagulation par la chaleur. Ceci semble même plus certain lorsque nous admettons que le calcium et le magnésium se trouvent probablement présents dans le lait : 1° en combinaison avec la protéine ; 2° en ions ou molécules non ionisées et 3° sous forme insoluble. Il est évident qu'il existe de nombreux cas où la chaleur peut modifier l'équilibre.

BIBLIOGRAPHIE.

1. LEIGHTON, ALAN and MUDGE, COURTLAND, S. — On the endothermic reaction which accompanies the appearance of a visible curd in milks coagulated by heat : A contribution to the theory of the heat coagulation of milk. *Journ. Biological Chem.*, v. 56, n° 1, pp. 53 to 73, May 1923.
2. VAN SLYKE, L.-L., and BOSWORTH, A.-W. — Condition of casein and salts in Milk. New York Agricultural Experiment Station. *Technical Bull.*, 39 (Geneva), December 1914.
3. SOMMER, H.-H. and HART, E.-B. — The heat coagulation of milk. *Jour. of Biol. Chem.*, v. 40, pp. 137-151, 1919,

4. ROGERS, L.-A., and DEYSHER, E.-F., and EVANS, F.-R. — The relation of acidity to the coagulation temperature of evaporated milk. *Jour. of Dairy Science*, v. 4, n^o 4, pp. 294-309, July 1921.
5. BANCROFT, WILDER, D. — Applied colloid chemistry, 1921.

LA CLASSIFICATION DES BACTÉRIES LACTIQUES.

par M. le D^r ORLA-JENSEN,

Professeur à l'Ecole Polytechnique de Copenhague.

On sait qu'il existe un nombre immense d'organismes très divers qui sont aptes à produire au moins de faibles quantités d'acide lactique. *Il faut donc procéder avec prudence, si l'on veut établir une famille de bactéries lactiques en se fondant uniquement sur l'aptitude particulièrement développée à former de l'acide lactique.* Cependant, les bactéries que nous appelons les véritables bactéries lactiques possèdent en commun tant d'autres propriétés, que leur étroite parenté ne paraît point douteuse. C'est ainsi que, à l'égal des animaux, elles se montrent excessivement exigeantes à l'égard de la nature de leur nourriture azotée et qu'elles ne peuvent croître qu'en présence de protéines ou de complexes d'acides-aminés ; et, chose singulière, elles ne sont point capables de libérer l'oxygène de l'eau oxygénée. De plus, ces bactéries sont dépourvues du pouvoir de réduire les nitrates, et elles ne produisent pas de végétation de surface dans les cultures de piqure. Enfin, elles prennent toutes le Gram, affectent la forme de bâtonnets ou de globules non mobiles et sans formation de spores, et leurs divisions ont ordinairement lieu dans un seul plan.

D'après mes recherches (1), on peut les grouper de la façon suivante :

A. — Les bactéries qui, en outre d'acide lactique, ne forment que des traces de produits accessoires.

FORMES DE BÂTONNETS. — I. *Thermobacterium*, produisant de l'acide lactique lévogyre ou inactif.

II. *Streptobacterium*, produisant de l'acide lactique dextrogyre ou inactif.

FORMES SPHÉRIQUES. — III. *Streptococcus*, produisant toujours de l'acide lactique dextrogyre.

(1) The Lactic Acid Bacteria. — *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences de Copenhague*, 1919, 2 tomes avec 51 plaques.