

La masse volumique du lait et de crèmes de 65° C à 140° C

par

A. J. BERTSCH (1)*, J. J. BIMBENET (2) et O. CERF (1)

avec la collaboration technique de A. LELUBRE, D. VERMEIRE,
A. DEGAS et M. CAVARROC

Résumé

La masse volumique du lait écrémé, du lait demi-écrémé, du lait entier, du lait enrichi et de crèmes ayant des teneurs en matière grasse de 11,4 et 15,5 p. 100 (m/m) a été mesurée entre 65° C et 140° C. Un appareil de mesure original, placé à la sortie d'un appareil de chauffage indirect à écoulement continu, a été utilisé. Au-dessus de 85° C, le temps de séjour moyen du lait à la température de l'essai est 11 s. Ce temps comprend la durée de la mesure elle-même, qui est de 2 s et est réalisée lors d'un arrêt de l'écoulement. La masse volumique P en kg.m^{-3} est liée à la température θ en ° C et à la teneur en matière grasse MG en % (m/m) par l'équation suivante :

$$\rho = - 0,2307 \times 10^{-2} \theta^2 - 0,2655 \theta + 1040,51 \\ - MG (- 0,478 \times 10^{-4} \theta^2 + 0,969 \times 10^{-2} \theta + 0,967)$$

Cette équation, obtenue à partir des résultats de 88 essais, ajuste ces derniers avec une erreur relative moyenne de $\pm 0,1$ % au niveau de signification 0,05.

Mots clés

Masse volumique - Lait - Crème.

(1) Unité de Génie Alimentaire, Institut National de la Recherche Agronomique - 78350 Jouy-en-Josas (France).

(2) Département de Génie Industriel Alimentaire, Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires - 91305 Massy (France).

* Ce travail fait partie d'une thèse de Docteur-Ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires, soutenue par A. J. BERTSCH, dont l'adresse actuelle est : Departamento de Química y Tecnología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, 2101 Maracay (Venezuela).

Titre abrégé

Masse volumique des laits et crèmes.

Summary

DENSITY OF MILK AND CREAMS BETWEEN 65 AND 140° C

The density of skimmed, half-skimmed and whole milk, and of creams (6, 11.4 and 15.5 g/100 g fat) was measured between 65 and 140° C. An original densitometer was placed at the outlet of a continuous flow indirect heater. Milk ran in a vertical tube, where pressure was measured in two points 1.5 m apart. Pressure difference could be measured with an electronic differential manometer. Manometric fluid was silicone oil. The vertical tube containing milk was insulated. The vertical part of the manometric fluid tube was jacketed, and temperature in jacket was maintained by circulating water at constant temperature. Temperature was measured with thermocouples in milk at the ends of the vertical tube. It was also measured in the manometric fluid in order to know accurately its density. When temperature was stationary in the densitometer, milk flow was interrupted with a diversion valve, and readings taken from the manometer after 2 seconds, and from the thermocouples. Density was deduced from manometric fluid density, pressure difference and vertical distance between pressure measurements. The densitometer was calibrated with water. Above 85° C, the mean residence time of the milk at the test temperature was 11 s. The equation.

$$\rho = -0.2307 \times 10^{-2} \theta^2 - 0.2655 \theta + 1040.51 \\ - F (-0.478 \times 10^{-4} \theta^2 + 0.969 \times 10^{-2} \theta + 0.967)$$

with ρ in kg.m^{-3} , θ in °C and F fat content in g/100 g, had a mean relative error of 0.1 p. 100 at the 0.05 level of significance (88 experimental points).

Keys words

Density - Milk - Cream.

INTRODUCTION

La connaissance de l'effet de la température sur les propriétés physiques du lait et des crèmes est indispensable pour établir des modèles mathématiques de leur comportement pendant les traitements thermiques auxquels ils sont soumis en vue de leur conservation. Il faudrait donc connaître la masse volumique, la viscosité, la chaleur massique, la conductivité thermique, la tension superficielle, etc. de ces produits non seulement jusque'à 80° C, température

limite de la pasteurisation, mais aussi jusqu'à 150° C, température limite du traitement U.H.T.

Dans le cas de la masse volumique, plusieurs études de l'influence de la température ont été faites jusqu'à 80° C : Whitaker, Sherman et Sharp (1927) ; Wegener (1953) ; Bogdanov et Gochigaev (1961) ; Phipps (1969) ; Rambke et Konrad (1970) ; Paech (1972) ; Lepilkin, Nozdrin et Zotov (1977) ; ou jusqu'à 90° C : Short (1956). A notre connaissance, aucune étude expérimentale n'a été faite au-dessus de 90° C. Pour les domaines de température de la stérilisation en bouteille ou du traitement U.H.T., on en est réduit à extrapoler les valeurs connues en supposant que les courbes évoluent parallèlement à celle de l'eau. On peut aussi estimer les masses volumiques du lait ou des crèmes à partir de celles de leurs constituants. C'est cette dernière méthode qu'ont employée Horak (1980) et Kessler (1981). Toutefois, il s'agit, dans les deux cas, d'extrapolations présentant des risques d'erreurs. Aussi le présent travail porte-t-il sur la mesure expérimentale de la masse volumique du lait et de crèmes jusqu'à 140° C. Les mesures de la viscosité, de la chaleur massique et de la tension superficielle dans le même domaine de température sont publiées par ailleurs (Bertsch, 1981 a, 1981 b, 1981 c).

MATERIEL ET METHODES

Produits

Le lait utilisé pour les expériences est du lait cru conservé à 4° C. Il provient de la production mélangée de 146 vaches de race croisée Holstein-Frisonne. Par écrémage à 30° C et recombinaison dans des proportions appropriées, sont préparés du lait écrémé, demi-écrémé, entier, enrichi et deux crèmes légères. L'écrémage, s'il y a lieu, est réalisé à 30° C. L'homogénéisation, s'il y a lieu, est réalisée à 58° C en deux étapes, à 250 et 50 bars, au débit de 373 l/h. La teneur en matière grasse (MG) est déterminée par la méthode de Gerber, la teneur en matière sèche (MS) par dessiccation à 100° C pendant 3 h (Kramer et Twigg, 1973) et la teneur en matière sèche non grasse (MSNG) par différence. Le tableau 1 montre la composition et le traitement des produits sur lesquels portent les essais.

Appareillage

a) Principe

Les auteurs cités dans l'introduction ont mesuré la masse volumique au moyen de pycnomètres, à une exception près : Short (1956) a utilisé un dilatomètre. Les instruments ne sont pas utilisables aux températures élevées. En effet, le temps nécessaire pour amener le lait à la température de l'essai et pour réaliser la mesure peut être élevé, par exemple 15 min (Rambke et Konrad, 1970). Dès 70° C,

TABLEAU 1 - TABLE 1

Caractéristiques des laits étudiés - *Characteristics of the milk studied*

Produit - <i>Product</i>	% (m/m) - % (w/w)			Traitement <i>Treatment</i>
	MG <i>F</i>	MS <i>Solids</i>	MSNG <i>SNF</i>	E = écrémage <i>skimming</i> H = homogénéisation <i>homogenization</i> M = mélange <i>mixing</i>
Lait écrémé <i>Skimmed milk</i>	0,03	9,03	9,00	E
Lait demi-écrémé <i>Half-skimmed milk</i>	1,50	10,29	8,92	E
Lait entier <i>Whole milk</i>	3,71	12,28	8,91	—
Lait entier <i>Whole milk</i>	3,83	12,41	8,92	H
Lait enrichi <i>Enriched milk</i>	5,92	14,40	9,01	H, M
Crème <i>Cream</i>	11,4	19,10	8,70	H, M
Crème <i>Cream</i>	15,5	22,83	8,70	H, M

cela entraîne nécessairement des modifications du lait. En outre, l'évaporation provoque la concentration du lait, donc l'augmentation de sa masse volumique. Enfin, ces instruments ne sont de toute façon pas utilisables au-dessus de la température d'ébullition.

Aussi l'appareil conçu pour le présent travail maintient-il le lait sous pression à la sortie d'un appareil à écoulement continu, pendant un temps de quelques secondes. Le lait est d'abord chauffé dans un appareil de chauffage indirect. Puis, il passe dans un tube vertical. Ce tube est pourvu de prises manométriques hautes et basses, séparées d'une distance connue exactement. Pour réaliser la mesure, l'écoulement du lait est arrêté pendant 2 s. La masse volumique du produit est alors déduite de la différence de pression entre les prises manométriques.

b) *Description de l'appareil de chauffage*

L'appareil utilisé pour le chauffage est un stérilisateur de laboratoire Rozé (établissement Cosse, Paris) modifié pour l'adapter aux essais (fig. 1). La pompe d'origine a été supprimée. Pour obtenir un débit stable, le produit est placé dans un bac mis en pression par de l'air comprimé à 7 bars absolus. La pression est régulée au moyen d'un détendeur Quiet. Le débit obtenu est de 37,5 l/h. Le lait passe d'abord dans un préchauffeur. Celui-ci est un échangeur constitué de trois tubes coaxiaux. Le lait circule dans l'espace annulaire intermédiaire, et de la vapeur (réglage manuel) est envoyée dans le cylindre central et l'espace annulaire externe. Le lait peut donc être amené à environ 85° C après un temps de séjour moyen de 40 s dans le préchauffeur. Il circule ensuite dans un préchambre tubulaire, où le temps de séjour moyen est de 80 s. Le préchambre permet de réduire la formation de dépôt dans la section suivante. La section de chauffage de l'appareil de Rozé proprement dit est constituée par un échangeur tubulaire formé de trois tubes coaxiaux comme le préchauffeur. Toutefois, l'espace annulaire intermédiaire a la forme d'une vis d'Archimède. Le lait circule entre les filets de la vis. Le temps de séjour moyen est de 4 s. A la sortie de cet échangeur est connecté l'appareil de mesure dans lequel le temps de séjour moyen est de 5 s. Après la mesure, le produit est refroidi dans un échangeur à vis analogue au précédent où circule de l'eau froide. Finalement, le lait traverse un régulateur de débit (Brooks, 8800 VD) et un débitmètre (Brooks, Sho-Rate 150).

La régulation de la température de chauffage dans l'appareil Rozé est basée sur l'allongement différentiel de l'échangeur (en acier) et d'une tige de constantan liée par un système pneumatique à l'arrivée de vapeur. La régulation se fait à $\pm 1^\circ$ C. Lorsque la température d'essai est inférieure à 85° C, le système de chauffage de l'appareil de Rozé n'est pas alimenté en vapeur.

c) *Description de l'appareil de mesure*

La partie essentielle de l'appareil de mesure est le tube vertical A (fig. 2), en acier inoxydable, où le lait pénètre par une vanne à trois voies. La distance entre les prises manométriques est de 1,500 m. Le tube A est isolé thermiquement avec de la vermiculite. La température dans le tube A est mesurée avec deux thermocouples placés en amont et en aval de la section de mesure, reliés à un enregistreur (Sefram BP). Après étalonnage, la précision obtenue est de $\pm 0,2^\circ$ C. On considère que la température de l'essai est la moyenne des deux températures mesurées, qui ne diffèrent jamais de plus de 2° C.

La différence de pression est mesurée avec un manomètre différentiel (Rosemount, Alphaline 1151 DP). L'intensité électrique émise par ce dernier est mesurée avec un multimètre (Keithley MNK 177). La précision sur les mesures de pression différentielle est

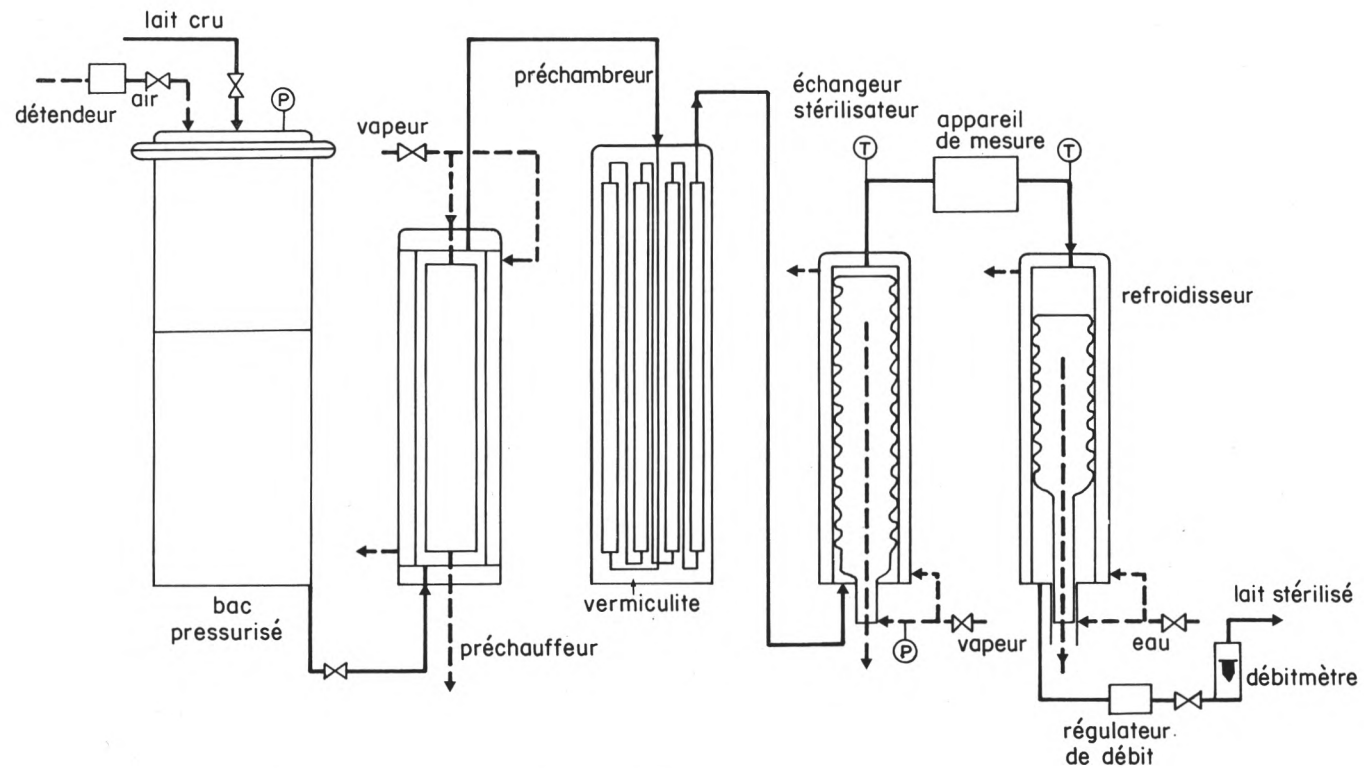


fig. 1

Appareil de chauffage - Continuous flow indirect heater.

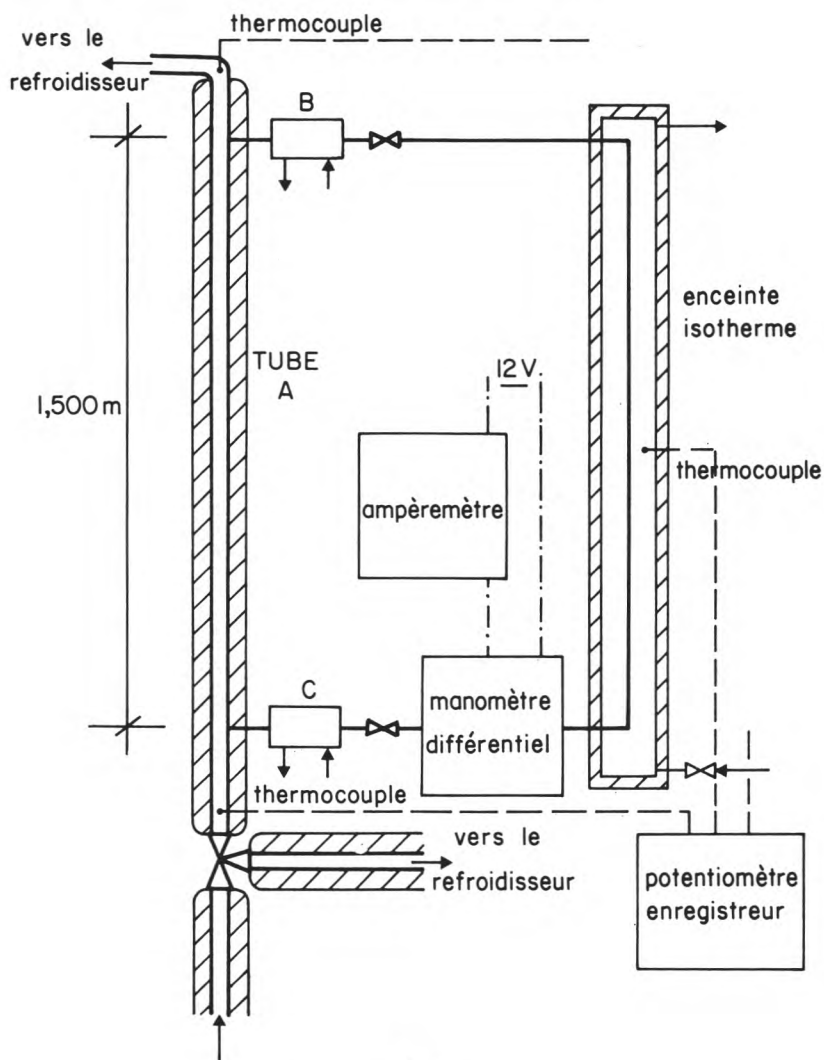


fig.2

Appareil de mesure de la masse volumique - *Density measuring device.*

0,2 p. 100. Un tube horizontal relie la prise manométrique basse au manomètre différentiel. Dans le cas de la prise haute, la liaison est réalisée par un tube horizontal et un tube vertical. Un liquide manométrique intermédiaire est utilisé entre le tube A et le manomètre différentiel. En effet, il est nécessaire d'utiliser un liquide de masse volumique connue et constante, qui ne risque pas de s'altérer au cours du temps. Le liquide manométrique est de l'huile

de silicone (Rhodorsil 47 V 20) non miscible au lait ou aux crèmes. Sa masse volumique, après mesure au pycnomètre, est connue en fonction de la température à $\pm 0,05 \text{ kg.m}^{-3}$. Pour éviter la conduction de chaleur du lait vers le fluide manométrique par les tubes horizontaux, on utilise deux échangeurs à eau froide, B, et C. Pour assurer l'homogénéité de la masse volumique du liquide manométrique dans le tube vertical, celui-ci est placé dans une double enveloppe parcourue par de l'eau thermostatée (Bain Haake NBS, $\pm 0,1^\circ \text{ C}$), réglée à 22° C . Un thermocouple placé au milieu de la double enveloppe permet de contrôler cette dernière température.

d) *Fonctionnement*

Lorsque des conditions stationnaires de température et de débit sont atteintes dans le tube A et que la température du liquide manométrique est stabilisée, la vanne à trois voies placée en amont du tube A est tournée. Le lait dans le tube A est alors immobile, mais l'écoulement se poursuit vers le refroidisseur sans modifier les conditions de fonctionnement de l'appareil de chauffage. Après 2 s d'attente, le manomètre différentiel est stabilisé, on lit la valeur affichée par le multimètre, et on enregistre les tensions des trois thermocouples. Pour des mesures en dessous de 85° C , la durée totale du maintien du lait à la température de l'essai est de 131 s. Pour des mesures au-dessus de 85° C , elle est de 11 s (après préchauffage et préchambrage de 120 s).

e) *Modifications du produit par le chauffage*

Du fait des traitements thermiques utilisés, le pourcentage de dénaturation des protéines du sérum (calculé à partir des données de Hillier et Lyster (1979) par la méthode de Cerf (1982) reste inférieur à 3 % lors des mesures à 77° C , atteint 45 % pour 87° C , et croît ensuite quasi linéairement jusqu'à 65 % pour 145° C . L'essentiel de la dénaturation a lieu durant le préchambrage. Les traitements utilisés sont donc tout à fait représentatifs des traitements U.H.T. indirects que l'on utilise actuellement dans l'industrie.

f) *Exploitation des résultats*

L'équation utilisée pour le calcul de la masse volumique est :

$$\rho = \rho_1 + \frac{\Delta\rho}{hg} + 0,34$$

où ρ est la masse volumique du produit en kg.m^{-3} , ρ_1 la masse volumique du liquide manométrique en kg.m^{-3} , $\Delta\rho$ la différence de pression en Pa, g l'accélération de la pesanteur en m.s^{-2} , h la différence de hauteur entre les prises manométriques, en m.

La valeur $0,34 \text{ kg.m}^{-3}$ est obtenue par étalonnage de l'appareil de mesure avec de l'eau adoucie. Elle représente la différence

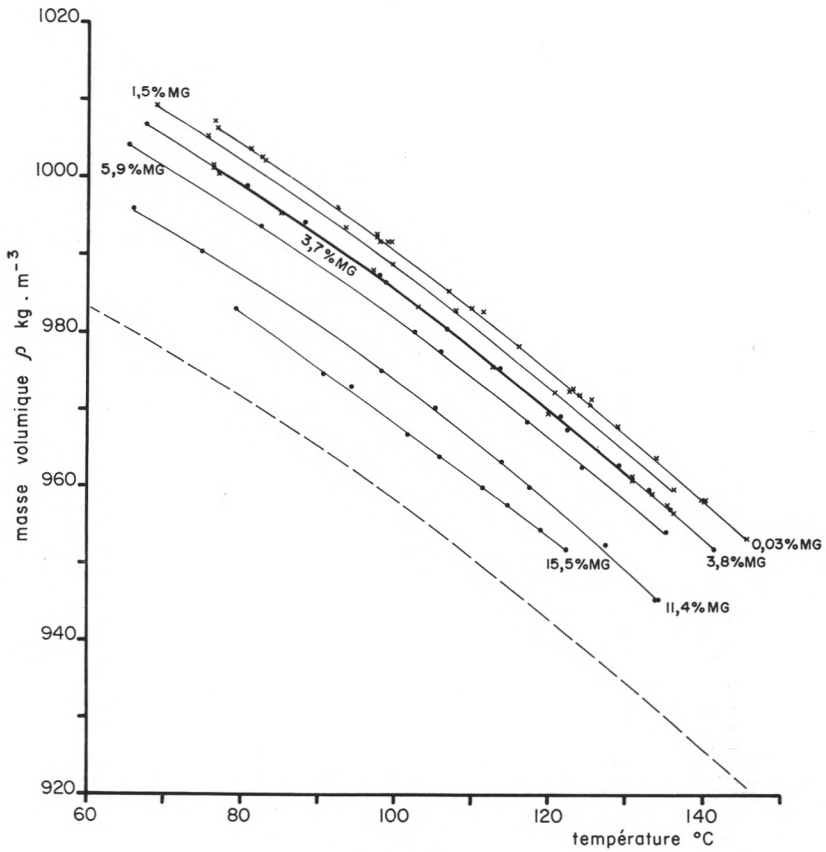


fig. 3

Influence de la température sur la masse volumique des laits et crèmes.

— — — : eau.

× — — — : lait non homogénéisé.
 ×

● — — — : lait ou crème homogénéisé.

Effect of temperature on density of milks and creams.

— — — : water.

× — — — : unhomogenized milk.
 ×

● — — — : homogenized milk or cream.

moyenne (0,036 %) entre les valeurs expérimentales et les valeurs tabulées (Weast, 1977).

RESULTATS

La figure 3 présente les points expérimentaux correspondant à 88 essais avec les laits et les crèmes, ainsi que les courbes correspondantes. Les équations des courbes sont de la forme :

$$\rho = a\theta^2 + b\theta + c$$

où ρ est la masse volumique en kg.m^{-3} et θ la température en ° C. La tableau 2 rassemble les valeurs des coefficients a, b et c pour chacun des produits.

Il est logique de supposer que la masse volumique du lait peut être exprimée en fonction de la masse volumique du lait écrémé ρ_0 (0 % MG) et de la masse volumique de la matière grasse ρ_{MG} , par une équation de la forme :

$$\rho = \rho_0 (1 - MG) + \rho_{MG} MG = \rho_0 - MG (\rho_0 - \rho_{MG})$$

où MG est le pourcentage (m/m) de matière grasse.

L'ensemble des résultats peut ainsi être exprimé par l'équation :

$$\rho = -0,2307 \times 10^{-2} \theta^2 - 0,2655 \theta + 1040,51 - MG (-0,478 \times 10^{-4} \theta^2 + 0,969 \times 10^{-2} \theta + 0,967) \quad (2)$$

L'équation (2) est valable pour l'intervalle de température 65° C-140° C, de 0 à 15,5 % (m/m) de MG. L'erreur relative moyenne est $\pm 0,1$ % au niveau de signification 0,05.

DISCUSSION

La validité de la méthode mise au point pour ce travail est démontrée tout d'abord par le faible écart entre les résultats obtenus avec l'eau et les valeurs tabulées. La validité de la méthode est confirmée en second lieu par les faibles écarts type résiduels des ajustements (tab. 2).

L'équation (2) est comparée aux équations proposées à partir de résultats expérimentaux par Phipps (1969) et Paech (1972) pour la zone de température entre 40° C et 80° C, et par Lepilkin, Nozdrin et Zotov (1977) pour les températures de 20° C à 80° C. Sur la figure 4, l'équation (2) est extrapolée jusqu'à 20° C et 50 % MG, et les équations des autres auteurs sont extrapolées jusqu'à 140° C. La figure 4 montre que toutes les courbes restent proches les unes des autres de 30° C à 140° C, sauf celle de Paech (1972) qui ne devrait pas être extrapolée au-dessus de 80° C puisqu'il s'agit d'une droite. A cette exception près, les écarts entre courbes restent inférieurs ou égaux à 0,4 %.

TABLEAU 2 - TABLE 2

Coefficient de l'équation de régression $\rho = a\theta^2 + b\theta + c$ avec ρ en kg.m^{-3} et θ en $^{\circ}\text{C}$

Coefficient of the equation of regression $\rho = a\theta^2 + b\theta + c$ with ρ in kg.m^{-3} and θ in $^{\circ}\text{C}$

Type de produit <i>Type of product</i>	a	b	c	Intervalle de température <i>Temperature interval</i> $^{\circ}\text{C}$	Ecart-type résiduel <i>Residual standard deviation</i> kg.m^{-3}
Lait écrémé <i>Skimmed milk</i>	— 0,002047	— 0,3200	1 043,17	76 à 145	0,31
Lait demi-écrémé <i>Half-skimmed milk</i>	— 0,002123	— 0,3070	1 040,60	69 à 136	0,10
Lait entier <i>Whole milk</i>	— 0,001980	— 0,3278	1 038,25	76 à 136	0,33
Lait entier homogénéisé <i>Homogenized whole milk</i>	— 0,002255	— 0,2737	1 035,66	67 à 141	0,28
Lait enrichi <i>Enriched milk</i>	— 0,002114	— 0,2978	1 032,80	65 à 135	0,25
Crème 11,4 % MG <i>Cream 11,4 % F</i>	— 0,002949	— 0,1483	1 018,44	65 à 134	0,35
Crème 15,5 % MG <i>Cream 15,5 % F</i>	— 0,000672	— 0,5910	1 034,24	79 à 122	0,29

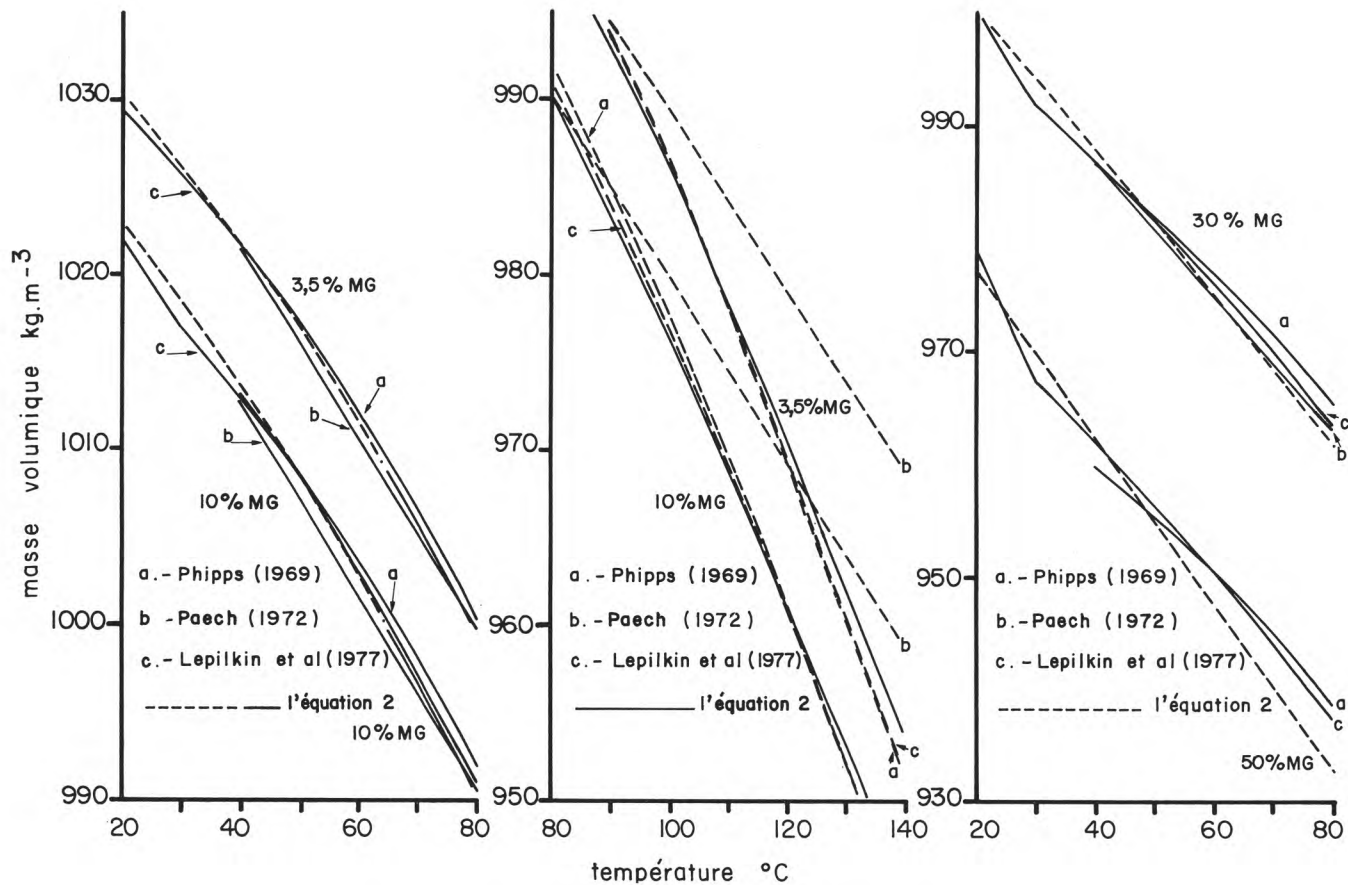


fig. 4

Comparaison de l'équation (2) avec les équations de PAECH (1972) ; PHIPPS (1969) ; LEPILKIN *et al.* (1977).
 Comparison between equation (2) and equations of PAECH (1972); PHIPPS (1969) and LEPILKIN *et al.* (1977).

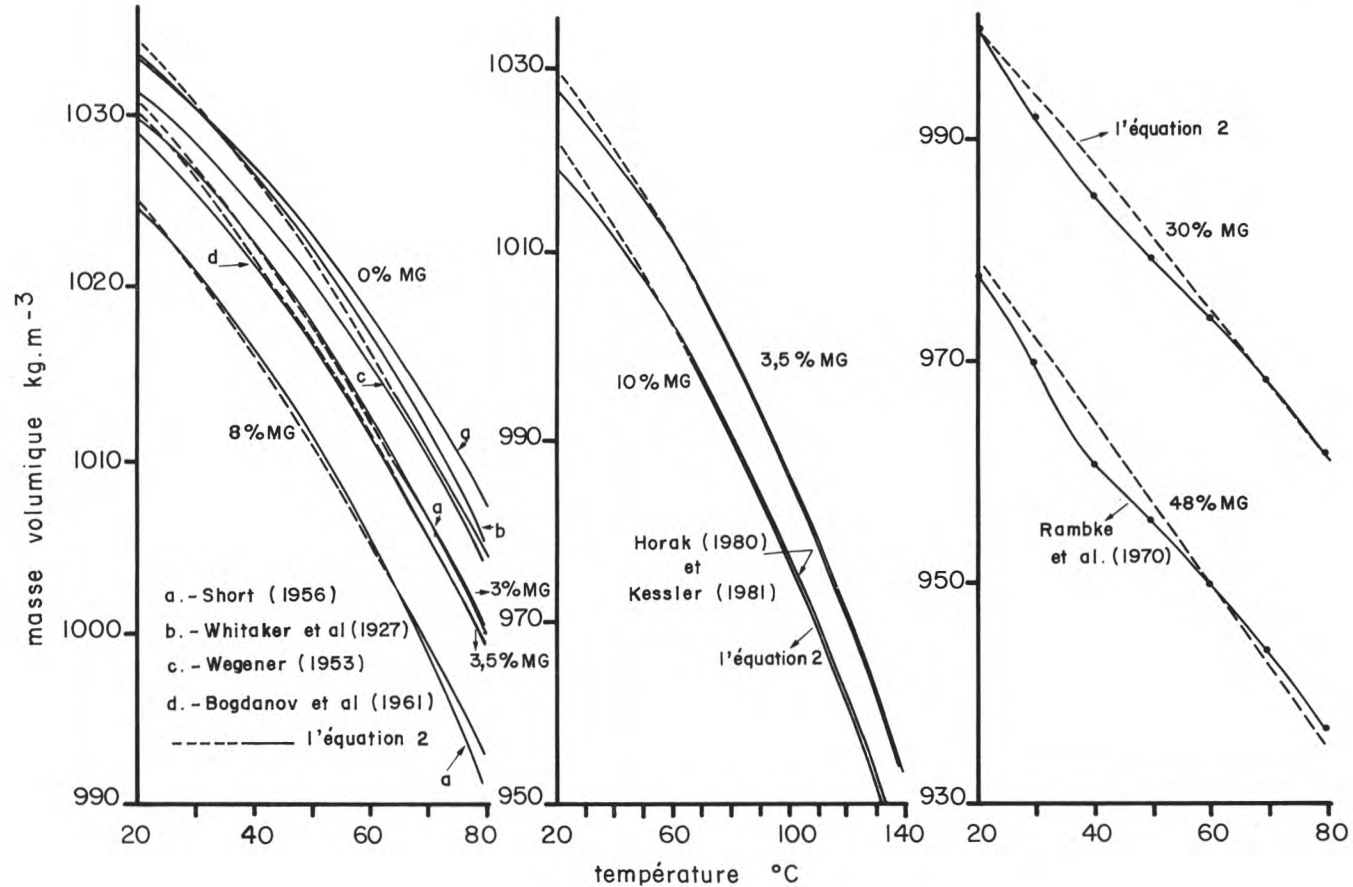


fig. 5

Comparaison de l'équation (2) avec les équations de HORAK (1980) et KESSLER (1981), et avec des équations déduites de résultats expérimentaux de SHORT (1955); SHORT (1956); WHITAKER *et al.* (1927); WEGENER (1953); BOGDANOV *et al.* (1961) et RAMBKE *et al.* (1970).

Comparison between equation (2) and equations of HORAK (1980) and KESSLER (1981), or equations deduced from experimental results of SHORT (1955); SHORT (1956); WHITAKER *et al.* (1927); WEGENER (1953); BOGDANOV *et al.* (1961) et RAMBKE *et al.* (1970).

La figure 5 présente la comparaison entre l'équation (2) et, d'une part les équations de Horak (1980) et Kessler (1981), d'autre part des courbes calculées à partir des résultats expérimentaux bruts publiés par Whitaker, Sherman et Sharp (1927); Wegener (1953); Short (1955); Short (1956); Bogdanov et Gochiyaev (1961); Rambke et Konrad (1970). Les courbes de Horak (1980) et Kessler (1981), à condition de ne considérer que les températures supérieures à 60° C, soit sont superposables à la courbe de l'équation (2) (laits), soit en diffèrent de moins de 0,1 % (crèmes). A 20° C, l'écart peut atteindre 0,5 %. Les courbes correspondant aux résultats expérimentaux des autres auteurs ne s'écartent pas de plus de 0,4 % de l'équation (2).

CONCLUSION

On peut donc conclure que l'équation (2) est applicable, non seulement dans les conditions expérimentales qui ont permis de l'établir (65° C à 140° C, 0 à 15,5 % MG), mais aussi à partir de 20° C, et jusqu'à 50 % de MG, sans que sa précision soit plus mauvaise que 0,3 %. Cet écart, que n'expliquent pas seulement les erreurs de mesure, provient peut-être de ce qu'il n'a pas été tenu compte des variations de la matière sèche non grasse, pas plus dans ce travail que dans les travaux antérieurs. Au-dessus de 60-70° C, l'écart peut aussi provenir des différences de méthode expérimentale (concentration par évaporation). Aux températures basses, « l'histoire thermique » du produit peut aussi contribuer à expliquer l'écart.

Au-dessus de 40° C, nous avons vérifié qu'un rapport quasiment constant existe entre les masses volumiques des laits et des crèmes étudiés, ainsi qu'un parallélisme presque parfait entre l'évolution de la masse volumique des produits étudiés et celle de l'eau (fig. 3), comme Whitaker, Sherman et Sharp (1927) l'avaient déjà observé, entre 40° C et 80° C. Ceci explique les bons résultats de l'équation théorique de Horak (1980) et Kessler (1981).

Il faut noter enfin que d'après Short (1956), l'homogénéisation ne produit que des changements négligeables (0,01 %) de la masse volumique. Cela est confirmé avec le lait entier (fig. 3).

Reçu pour publication en décembre 1981.

Bibliographie

- BERTSCH (A. J.) (1981 a). — Viscosity of milk and cream from 70° C to 135° C. *Journal of Dairy Research* (soumis pour publication).
- BERTSCH (A. J.) (1981 b). — La chaleur massique du lait de 50° C à 140° C. *Le Lait* (soumis pour publication).

- BERTSCH (A. J.) (1981 c). — Surface tension of milk from 18° C to 135° C. *Journal of Dairy Research* (soumis pour publication).
- BOGDANOV (S.) et GOCHIYAEV (B.) (1961). — Etude des propriétés physiques et thermiques du lait (en russe). *Molochnaiya Promyslennost*, 22 (6), 16-20.
- CERF (O.) (1982). — Influence du recyclage sur les caractéristiques du lait U.H.T. *Revue Laitière Française* (soumis pour publication).
- HILLIER (R. M.) and LYSTER (R. L. J.) (1979). — Whey protein denaturation in heated milk and cheese whey. *Journal of Dairy Research*, 46, 95-102.
- HORAK (F. P.) (1980). — Über die Reaktionskinetik der Sporenbildung und chemischer Veränderungen bei der thermischen Haltbarmachung von Milch zur Optimierung des Erhitzungsverfahrens. Thèse, Université de Technologie de Munich (R.F.A.).
- KESSLER (H. G.) (1981). — Food Engineering and Dairy Technology. Verlag A. Kessler, Freising (R.F.A.).
- KRAMER (A.), TWIGG (B. A.) (1973). — Quality Control for the Food Industry. 3rd ed. The Avi Publishing Company, Westport (Connecticut).
- LEPILKIN (A. N.), NOZDRIN (S. I.), et ZOTOV (V. V.) (1977). — Influence de la composition et de la température sur la masse volumique et la chaleur massique des laits et des crèmes (en russe). *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Pishchevaya Tekhnologiya*, (5), 137-138.
- PAECH (W.) (1972). — Untersuchungen zur Hochdruckhomogenisation von Milch. Thèse, Université de Karlsruhe (R.F.A.).
- PHIPPS (L. W.) (1969). — The interrelationship of the viscosity, fat content and temperature of cream between 40° C and 80° C. *Journal of Dairy Research*, 36, 417-426.
- RAMBKE (K.) und KONRAD (H.) (1970). — Physikalische Eigenschaften flüssiger Milchprodukte. 1. Mitt. Dichte von Milch, Rahm und Milchkonzentraten. *Nahrung*, 14 (2), 137-143.
- SHORT (A. L.) (1955). — The temperature coefficient of expansion of raw milk. *Journal of Dairy Research*, 22, 69-73.
- SHORT (A. L.) (1956). — The density of processed milk. *Journal of the Society of Dairy Technology*, 9, 81-86.
- WEAST (R. C.) (1977). — Handbook of Chemistry and Physics. 58th ed. CRC Press, Cleveland (Ohio).
- WEGENER (H. VON) (1953). — Viskositätsmessungen von Voll- und Magermilch bei verschiedenen Temperaturen. *Milchwissenschaft*, 8, 433-434.
- WHITAKER (R.), SHERMAN (J. M.) and SHARP (P. F.) (1927). — Effect of temperature on the viscosity of skim milk. *Journal of Dairy Science*, 10, 361-371.
-