

LA GRADUATION DES BUTYROMÈTRES A LAIT

par

JEAN PIEN

Ingénieur chimiste, Docteur ès sciences, Directeur des Laboratoires de la Laiterie des Fermiers Réunis.

La question s'est souvent posée de savoir si les butyromètres utilisés pour le dosage de la matière grasse du lait donnaient le résultat en grammes par litre ou en grammes par kilo.

Si nous faisons abstraction des discussions nombreuses qui se sont élevées à ce sujet, nous dirons que la manière la plus sûre de résoudre ce problème consiste à l'étudier expérimentalement, c'est-à-dire à déterminer d'abord le volume théorique que doit avoir l'échelle du butyromètre gradué au litre ou gradué au kilo, puis à comparer ensuite à ce chiffre celui que l'on obtient en mesurant le volume réel de l'échelle du butyromètre soumis à l'examen.

Or, c'est là une question assez mal connue, il faut l'avouer, et cependant d'une très grande importance pratique.

Nous avons donc cherché à combler cette lacune en dégagant les données essentielles du problème pour en permettre la solution.

La présente étude se propose :

1° De déterminer le volume théorique de l'échelle des butyromètres (cette donnée sera, du même coup, très utile aux constructeurs de butyromètres puisqu'elle leur fournira la base de leur fabrication) ;

2° De donner le moyen de contrôler aisément n'importe quel butyromètre en vue de savoir, notamment, s'il est gradué au litre ou au kilo ;

3° De répondre à la question suivante : les butyromètres Gerber sont-ils gradués au litre ou au kilo ?

Il va de soi qu'une étude de ce genre est fonction de la méthode d'analyse employée. Nous nous bornerons au cas le plus général de l'application de la méthode Gerber.

* * *

PREMIÈRE PARTIE

VOLUME THÉORIQUE DE L'ÉCHELLE DES BUTYROMÈTRES

I. — Définition de l'échelle graduée d'un butyromètre

La graduation d'un butyromètre à lait doit être telle qu'une petite division corresponde à un gramme de matière grasse par litre ou par kilo, suivant le type de butyromètre envisagé. Or, dans

la méthode Gerber, on introduit 11 cm³ de lait dans le butyromètre, quel qu'en soit le type. En adoptant comme densité moyenne du lait 1,032, ces 11 cm³ pèsent en moyenne 11 gr. 352.

Il en résulte que, dans le butyromètre gradué au litre, ces 11 cm³ d'un lait à 1 gramme par litre apportent les 11/1.000^e de ce gramme ou 11 milligrammes de matière grasse. C'est là ce que contient réellement, en valeur absolue, la division qui traduit la richesse au litre de ce lait.

Dans le butyromètre gradué au kilo, ces 11 cm³ ou ces 11 gr. 352 d'un lait à 1 gramme par kilo apportent les 11,352/1.000^e de ce gramme ou 11 mgr. 352 de matière grasse. C'est là ce que contient réellement, en valeur absolue, la division qui traduit la richesse au kilo de ce lait.

En résumé, en appliquant la méthode Gerber, une division du butyromètre contient, en valeur absolue, au moment et dans les conditions de la lecture :

11 milligrammes de M. G. dans le cas d'un butyromètre gradué au litre,

11 mgr. 352 de M. G. dans le cas d'un butyromètre gradué au kilo.

Il s'agit ici, bien entendu, non pas de matière grasse pure, mais de la matière grasse telle qu'elle se trouve séparée dans la technique Gerber, c'est-à-dire extraite par centrifugation du mélange contenant de l'acide sulfurique, de l'alcool amylique, contenant elle-même ces deux substances, comme l'analyse le montre, et observée à une température comprise entre 65^o et 70^o.

Cette donnée pondérale serait inutilisable tant dans la pratique du contrôle du butyromètre que dans la fabrication de l'appareil. Ce qu'il nous faut connaître, c'est le *volume réel* de la division ainsi définie.

Connaissant le poids de M. G. contenue dans une division, il serait facile d'en déduire le volume réel soit à 65-70^o, soit à 20^o, c'est-à-dire le volume de la division elle-même, puis de l'échelle entière, si nous connaissions la densité réelle de la M. G. séparée selon Gerber et considérée à 65-70^o.

Or, cette densité ne figure pas dans les tables numériques des traités, car il ne s'agit pas ici de M. G. pure. Il était donc indispensable de procéder à une détermination directe de cette densité.

II. — Détermination de la densité de la matière grasse extraite selon Gerber

Cette détermination ne peut être effectuée d'une manière précise que par la méthode classique du flacon. Or, cette technique nécessite la mise en œuvre d'une quantité importante de M. G. (60 à 70 cm³)

qu'il faut d'abord extraire. Comme nous venons de le dire, il ne peut être question de prendre à 65-70° la densité de la M. G. du lait séparée par d'autres méthodes. Il faut travailler sur la M. G. telle qu'elle se présente dans le butyromètre, c'est à dire obtenue en respectant les conditions chimiques et thermiques du dosage. Or, un butyromètre ne contient guère — dans le cas d'un lait à 40 grammes par litre — qu'un demi-centimètre cube de M. G. environ. Il se pose donc, tout d'abord, un problème d'extraction qui constitue à vrai dire toute la difficulté de cette étude.

1° Extraction de la matière grasse.

Nous passerons sous silence nos essais préliminaires qui consistaient à effectuer le dosage selon Gerber sur 150 cm³ de lait dans des ampoules à décantation, sans centrifugation, puis à extraire par décantation la M. G. qui était finalement purifiée par centrifugation. L'élévation de température obtenue (90°), supérieure à celle du mélange normal dans le butyromètre (70-72°) et la durée du séjour de la M. G. au contact de l'acide à cette température, ont altéré la M. G. au point que les densités trouvées se sont montrées assez éloignées des chiffres concordants obtenus par la méthode finalement mise au point sous la forme suivante :

Nous sommes parti de cette idée qu'il fallait extraire la M. G. des butyromètres eux-mêmes, dans l'état où elle se trouve à la sortie de la centrifugeuse. Il était nécessaire, pour parvenir à ce résultat, d'utiliser des butyromètres ouverts aux deux extrémités. Mais l'emploi des appareils construits sur cette base s'est avéré impossible pour des raisons diverses.

Nous avons donc résolu le problème d'une autre manière : un certain nombre de butyromètres ordinaires à lait entier ont été ouverts au chalumeau à l'extrémité de l'ampoule ; cette petite ouverture fut obturée pendant le remplissage, l'agitation et la centrifugation à l'aide d'un dispositif créé à cet effet et constitué essentiellement par un étrier de laiton qui, prenant appui sous la base de l'ampoule, maintenait sur la petite ouverture un disque de caoutchouc appliqué et serré par l'intermédiaire d'une vis à oreille. Ainsi hermétiquement clos, les butyromètres, dont le volume n'était pas modifié, se comportaient exactement comme des butyromètres à lait entier. Pour la centrifugation, ces équipages étaient enfermés et calés dans des étuis de laiton de longueur suffisante et qui prenaient leur place normale dans la centrifugeuse.

Au sortir de la centrifugation, le dispositif d'obturation était enlevé et la M. G. extraite à l'aide d'un microsiphon guidé jusqu'à 1 millimètre du plan inférieur de la colonne grasse. On obtenait ainsi, pour chaque butyromètre, environ un demi-centimètre cube

de M. G. parfaitement claire, n'ayant subi aucun nouveau contact avec l'acide et aucun échauffement anormal. Bref, la M. G. était enlevée du butyromètre dans l'état exact où l'application de la technique Gerber l'avait séparée. La même opération était menée en parallèle sur six ou huit butyromètres et, après une vingtaine de séries semblables, nous avions rassemblé toute la quantité de M. G. nécessaire aux mesures.

Il va sans dire que cette détermination a été répétée plusieurs fois sur des laits d'origine différente et à des dates différentes. Les résultats obtenus ont tous été concordants à moins de 2/10.000^e près.

Remarque.

Cette technique, malgré sa simplicité apparente, est d'une application pénible et délicate. A titre de curiosité, nous avons alors repris, en les modifiant, certaines de nos techniques initiales et nous sommes parvenu à un résultat très satisfaisant en opérant comme suit : 150 butyromètres ordinaires non modifiés, remplis et traités comme dans le cas de l'analyse du lait, sont retournés, bouchon vers le haut, au sortir de la centrifugeuse, *sans réchauffage au bain-marie* et vidés quelques minutes plus tard dans de grandes ampoules à décantation.

Dans cet état, le mélange est à une température peu élevée (35°) et la M. G., traversant la couche acide pour se rassembler à la partie supérieure des ampoules, subit le minimum d'altération.

Après quelques heures de repos à froid dans les ampoules, on sépare la liqueur acido-alcoolique. On rassemble la M. G. dans des tubes à essais en verre épais ; et, après un réchauffage très modéré de cette M. G. (3 minutes à 40-50°), on centrifuge de nouveau et on extrait à l'aide d'une pipette sèche.

Les résultats obtenus dans ces conditions sont très voisins des précédents, mais ils n'auraient pu, *à priori*, être considérés isolément comme sûrs. La technique du butyromètre ouvert aux deux extrémités apporte, à elle seule, une grande sécurité et les deux méthodes se trouvent ainsi mutuellement confirmées.

2° Détermination de la densité.

Cette détermination a été effectuée par la méthode du flacon qui consiste, comme on le sait, à peser la matière grasse contenue dans le flacon, puis à déterminer le volume exact de cette matière grasse à la température considérée ; le rapport de ces deux nombres représente le poids spécifique de la matière grasse à la température choisie.

Nous n'insisterions pas autrement sur cette technique bien connue des laboratoires si une difficulté nouvelle ne s'était rencontrée.

Nous devons, en effet, opérer à 65-70° puisque le volume de la graduation que nous cherchons à calculer est le volume occupé par 11 mgr. ou 11 mgr. 352 de M. G. à cette température — cette condition nous étant imposée par la technique Gerber. C'est donc la densité de la M. G. à 65-70° que nous devons calculer et c'est aussi à cette température que nous devons déterminer le poids et le volume de la M. G. contenue dans le flacon (nous avons adopté pour nos mesures 67°).

a) Détermination du poids de la M. G. à 67°.

Pas de difficultés. Il suffit d'observer rigoureusement les précautions requises dans ce genre de mesures délicates.

b) Détermination du volume de la M. G. à 67°.

Elle ne peut pas se faire directement. Il faut opérer en remplaçant la M. G. par de l'eau pure, pesant ce volume d'eau à 67° et divisant par la densité de l'eau à 67° pour obtenir finalement le volume du flacon (donc de la M. G.) à 67°.

Or, la densité de l'eau pure à 67° n'est pas connue et ne figure dans aucune table. Il nous a fallu la déterminer indirectement. Une première interpolation sur un graphique en utilisant les chiffres connus pour la densité de l'eau à 50° (0,9981) et à 100° (0,9586) nous a fourni une valeur approchée : 0,9785. Mais il était nécessaire d'avoir ici une très grande précision — au moins égale à celle que nous recherchons pour la densité de la M. G. elle-même. Cette détermination graphique ne nous ayant pas paru suffisamment sûre, nous avons déterminé par le calcul la densité de l'eau à 67° en procédant de la manière suivante :

Si nous appelons V le volume d'une certaine masse de liquide à T° et v le volume de cette masse à t° , nous savons que ces valeurs sont liées par la relation :

$$V(1 + \beta t) = v(1 + \beta T)$$

où β représente le coefficient de dilatation du liquide pour l'intervalle t° à T° .

Or, les tables ne donnent pas non plus la valeur de β pour l'eau entre 50° et 100°. Il est facile de la calculer : nous savons, d'après les tables classiques, que la densité de l'eau vaut 0,9881 à 50° et 0,9586 à 100°. Nous en déduisons qu'un kilo d'eau occupe un volume de 1012 cm³ 04 à 50° et 1043 cm³ 19 à 100°.

Introduisons ces valeurs dans l'égalité précédente. Nous aurons :

$$1043,19(1 + 50\beta) = 1012,04(1 + 100\beta)$$

d'où nous tirons pour l'intervalle 50° à 100° la valeur de $\beta = 0,000635$.

Appelons maintenant x le volume d'1 kilo d'eau à 67°. Nous pourrions écrire de la même manière :

$$1043,19 (1 + 67 \beta) = x (1 + 100 \beta)$$

En remplaçant β par sa valeur et en effectuant les calculs, nous tirons la valeur de $x = 1022 \text{ cm}^3 \text{ 63}$.

Nous en déduisons finalement la densité de l'eau à 67° :

$$\frac{1000}{1022,63} = 0,9780$$

Nous aboutirions évidemment à la même valeur en prenant comme point de départ le volume d'un kilo d'eau à 50° et en résolvant l'équation suivante :

$$x (1 + 50 \beta) = 1012,04 (1 + 67 \beta)$$

La valeur ainsi trouvée est assez voisine de celle qui a été déterminée graphiquement. Mais elle est plus précise et plus sûre.

Connaissant la densité de l'eau à 67° et le poids du flacon plein d'eau à cette température, nous déterminons aisément le volume du flacon, c'est-à-dire finalement celui de la M. G. elle-même à cette température.

Nous avons alors tous les éléments du calcul et il nous est facile maintenant, connaissant le poids et le volume de la M. G. à 67° , d'en déduire la densité à cette température.

3° Résultats obtenus.

Les déterminations que nous avons effectuées, tant par la méthode des butyromètres ouverts aux deux extrémités que par la méthode des butyromètres ordinaires vidés à froid, nous ont toutes conduit à des chiffres compris entre 0,8829 et 0,88305.

Nous avons adopté comme valeur moyenne de la densité à 67° de la M. G. extraite du Gerber la valeur : 0,8830.

Il est intéressant de noter que le chiffre obtenu par KÖNIG dans ses études sur la M. G. *pure* extraite du lait est, à 70° , de 0,888, c'est-à-dire nettement différent de celui que nous avons obtenu sur la M. G. extraite selon GERBER, qui n'est pas pure ; elle contient de l'acide sulfurique libre, de l'acide combiné et une trace d'alcool amylique libre. Peut-être ce chiffre a-t-il été, à tort, utilisé par certains constructeurs de butyromètres inexacts.

III. — Calcul du volume d'une graduation de l'échelle

Il est maintenant facile de calculer le volume à 67° d'une division du butyromètre :

1° *Butyromètre gradué au litre :*

$$\frac{11 \text{ milligrammes}}{0,883} = 0 \text{ cm}^3 \text{ 012457}$$

2° *Butyromètre gradué au kilo :*

$$\frac{11 \text{ mgr. } 352}{0,883} = 0 \text{ cm}^3 012856$$

Ces volumes sont ceux d'une division (ou de la matière grasse qu'elle contient) à 67°. Or, pour la pratique, — construction et vérification des butyromètres — ce qu'il est intéressant de connaître c'est le volume à la température ordinaire (20° par exemple). Il faut évidemment tenir compte de la dilatation du verre. Or, si l'on appelle V le volume d'une graduation à 67°, v le volume à 20°, t l'écart entre les deux températures (ici 67 — 20 ou 47°) et K le coefficient de dilatation cubique du verre utilisé, nous aurons :

$$V = v(1 + Kt) \text{ d'où } v = \frac{V}{1 + Kt}$$

Quelle valeur faut-il attribuer à K ? La moyenne des verres utilisés pour ce genre d'appareils présente un coefficient de dilatation linéaire égal à $7,5 \times 10^{-6}$ soit, pour le coefficient de dilatation cubique qui en est le triple : $22,5 \times 10^{-6}$.

Nous avons donc :

$$1 + Kt = 1 + 22,5 \times 10^{-6} \times 47 = 1,001057$$

Nous en déduisons le volume d'une graduation à 20° :

1° *Butyromètre gradué au litre :*

$$v = \frac{0,012457}{1,001057} = 0 \text{ cm}^3 012443$$

2° *Butyromètre gradué au kilo :*

$$v = \frac{0,012856}{1,001057} = 0 \text{ cm}^3 012842$$

IV. — Volume des échelles entières

Les volumes que nous venons de calculer sont ceux d'une petite division, représentant 1 gramme par litre ou par kilo de lait suivant le type de butyromètre.

Pour des échelles d'amplitudes variées, le volume total à 20° est donc le suivant :

	Butyromètres gradués au litre (centimètres cubes)	Butyromètres gradués au kilo (centimètres cubes)
Echelle de 50 divisions	0,62215	0,64210
Echelle de 60 divisions	0,74658	0,77052
Echelle de 70 divisions	0,87101	0,89894
Echelle de 80 divisions	0,99544	1,02736

V. — Notes complémentaires intéressant les constructeurs.

1° Longueur et section de l'échelle graduée.

La longueur de la partie graduée d'un butyromètre normal doit être comprise entre certaines limites que nous pouvons appeler h_1 et h_2 . Le rayon intérieur de l'échelle variera évidemment entre 2 limites R_1 et R_2 qui dépendent de h_1 et h_2 . Pour un volume donné V de l'échelle totale nous pouvons donc écrire :

$$V = \pi R_1^2 h_1 = \pi R_2^2 h_2$$

dont nous tirons aisément la valeur de R_1 et R_2 en fonction de h_1 et h_2 .

Or, la pratique montre que la longueur de l'échelle graduée doit être d'environ 75 $\frac{m}{m}$ avec une tolérance de $\pm 5 \frac{m}{m}$. Nous avons donc $h_1 = 70$ et $h_2 = 80$.

D'autre part, si nous considérons le cas (le plus courant) d'une échelle de 70 divisions d'un butyromètre gradué au litre, nous avons vu que le volume total intérieur de cette échelle doit être de 0 cm³ 871.

Nous en déduisons, tous calculs faits, que $R_1 = 1 \frac{m}{m}$ 99 et $R_2 = 1 \frac{m}{m}$ 86. Ce qui revient à dire que le diamètre intérieur de l'échelle graduée doit être compris entre 3 $\frac{m}{m}$ 7 et 4 $\frac{m}{m}$. La longueur totale de l'échelle se trouvant alors être comprise entre 70 et 80 $\frac{m}{m}$ dans l'exemple choisi, qui correspond aux besoins les plus courants.

Le même calcul serait à refaire dans le cas d'une échelle de 50 ou 60 divisions et, bien entendu aussi, dans le cas des butyromètres gradués au kilo.

Connaissant dans chaque cas le volume total de l'échelle et le diamètre intérieur du tube de verre utilisé, il sera facile de calculer la longueur exacte qui doit séparer les deux traits extrêmes de la graduation.

2° Dimensions à donner aux diverses parties d'un butyromètre.

a) Le col portera quatre cannelures circulaires (et non hélicoïdales) distantes de 3 à 4 $\frac{m}{m}$. Diamètre extérieur : 15 à 16 $\frac{m}{m}$. Diamètre intérieur : 11 $\frac{m}{m}$. Longueur : 15 $\frac{m}{m}$. Volume intérieur : 1 cm³ 8 \pm 0 cm³ 3 ;

b) La panse aura un diamètre extérieur de 25 $\frac{m}{m}$ une longueur de 60 à 65 $\frac{m}{m}$ (de soudure à soudure) et un volume intérieur de 21 cm³ \pm 0 cm³ 5 ;

c) La tige graduée aura un diamètre extérieur de 8 $\frac{m}{m}$ environ, un diamètre intérieur variable suivant le nombre de divisions de

l'échelle (voir ci-dessus) et une longueur totale, de soudure à soudure, de 90 à 95 $\frac{m}{m}$;

d) L'ampoule terminale aura un volume intérieur de 1 cm³ 6 ± 0 cm³ 3 et une longueur de 20 à 25 $\frac{m}{m}$;

e) Le volume *total* du butyromètre sera donc compris entre 24 cm³ 5 et 26 cm³ 5. Sa longueur totale sera de 190 à 195 $\frac{m}{m}$.

3° Inscription à faire figurer sur la panse.

Les butyromètres devront obligatoirement porter la mention « gradué au litre » ou « gradué au kilo » suivant le type d'appareil.

Un numéro sera gravé sur l'ampoule terminale de chaque butyromètre.

* * *

DEUXIÈME PARTIE

CONTROLE DES BUTYROMÈTRES

Le contrôle des butyromètres se propose deux objectifs :

- Déterminer si le butyromètre est gradué au litre ou au kilo ;
- Vérifier son exactitude.

I. — Détermination du type de butyromètre

Nous proposons deux méthodes de contrôle :

1° Vérification du volume de l'échelle graduée par le mercure.

Mode opératoire : Laver, rincer et sécher à fond le butyromètre. Introduire du mercure très pur et sec dans l'ampoule terminale jusqu'à affleurer la graduation supérieure de l'échelle. Bien veiller à obtenir une parfaite tangence du ménisque du mercure avec le trait de gravure. Se protéger des erreurs de parallaxe en effectuant des visées parfaitement horizontales. S'aider, pour réaliser l'affleurement, d'un tube de verre étiré en tige semi-capillaire. Peser l'appareil ainsi garni. Poursuivre ensuite le remplissage de l'échelle jusqu'à la graduation 0. Eviter d'emprisonner des bulles d'air le long des parois. Peser à nouveau le butyromètre. La différence entre les deux pesées représente le poids de mercure contenu dans l'échelle totale. En divisant par la densité du mercure à 20° (13,55), on obtient le volume réel de l'échelle à 20°. Il convient de répéter l'opération à plusieurs reprises sur les mêmes butyromètres et de prendre la moyenne des pesées.

Observation importante : Pour distinguer si un butyromètre de 70 divisions est gradué au litre ou au kilo, il faut pouvoir apprécier une différence de volume de 0,8989 — 0,8710 = 0 cm³ 0279. Il faut que les affleurements des ménisques de mercure soient effectués

avec précision. Cet écart de volume ne correspond qu'à une différence de longueur d'échelle d'environ $2 \frac{\text{m}}{\text{m}} 2$ (une erreur de $1 \frac{\text{m}}{\text{m}}$ à chaque affleurement pourrait donc rendre le contrôle illusoire) et à une différence dans les pesées de mercure de 380 milligrammes environ. Les divers essais effectués successivement n'auraient donc aucune valeur s'ils différaient entre eux de cette quantité. Il conviendra de n'attacher de confiance qu'aux essais au cours desquels les différents poids de mercure trouvés (de l'ordre de 12 gr.) ne diffèrent entre eux, pour un même butyromètre, que de quelques milligrammes ou, à l'extrême rigueur, de quelques centigrammes pour une sélection rapide.

Il est clair, en tous cas, qu'en réalisant cette opération, un écart de l'ordre de 400 milligrammes ne peut passer inaperçu et qu'il sera facile à un expérimentateur soigneux de conclure si le butyromètre examiné est gradué au litre ou au kilo.

2° Comparaison avec la méthode Gottlieb.

Sur un même lait, on procédera à plusieurs dosages de la M. G. en utilisant la série de butyromètres à examiner et en effectuant tous ces essais en double *avec le plus grand soin*. Il convient, en la circonstance, de respecter scrupuleusement les divers points de la méthode Gerber : utiliser une pipette de 11 cm³ exacte, centrifuger pendant 5 minutes à 1.200 tours-minute, porter au bain-marie à 65-70° pendant 5 minutes, faire la lecture rapidement sans erreur de parallaxe, etc...

D'autre part, on dosera la matière grasse de ce même lait par la méthode Gottlieb-Röse en utilisant le butyromètre Brioux et respectant également avec soin toutes les conditions de la méthode que nous supposons connue. Bien noter d'utiliser une pipette de 10 cm³ à *lait* exacte. A défaut, on utilisera la pipette de 11 cm³ qui a servi aux essais selon Gerber et on corrigera le résultat en le multipliant par 10/11.

Enfin, le résultat du dosage selon Gottlieb sera exprimé directement au litre et ramené au kilo de lait (connaissant la densité du lait mis en œuvre). On aura ainsi deux chiffres auxquels on comparera le résultat moyen fourni par la méthode Gerber.

Exemple de contrôle :

Richesse selon Gottlieb (par litre)	46,10
Richesse selon Gottlieb (par kilo)	44,80
Résultat moyen selon Gerber	46,00

Conclusion : le butyromètre est gradué au litre.

II. — Contrôle de l'exactitude du butyromètre : tolérance acceptable

Il va de soi que la construction des butyromètres n'est pas une opération ayant la rigueur mathématique. Les appareils, nécessairement construits en série, ne présenteront jamais, tous ensemble, les volumes d'échelles graduées définis plus haut. Il faut donc prévoir et définir une certaine tolérance.

D'autre part, l'exactitude théorique serait absolument inutile, puisque la lecture du nombre de graduations occupées par la M. G. ne peut se faire avec une précision supérieure à la demi-division ou, au maximum, au quart de division. Il serait évidemment hors de propos d'exiger du constructeur une précision plus grande puisqu'il serait pratiquement impossible d'en profiter.

Nous pouvons donc considérer comme limite supérieure de l'erreur possible — et, du même coup, comme tolérance acceptable — ce quart de division dans le cas de la graduation complète.

Elle représente, dans notre esprit, un maximum qui doit couvrir les inexactitudes inévitables de calibrage et de gravure.

Or, nous savons qu'une division occupe un volume absolu à 20° de 0 cm³ 012443 dans le cas du butyromètre gradué au litre et 0 cm³ 012842 dans le cas du butyromètre gradué au kilo. La tolérance dont nous parlons représente donc une variation de volume de ± 0 cm³ 00311 dans le cas du butyromètre gradué au litre et de ± 0 cm³ 00321 dans le cas du butyromètre gradué au kilo.

Il s'ensuit donc que les chiffres théoriques donnés plus pour le volume des échelles doivent être, dans la pratique, remplacés par les suivants :

	Butyromètre gradué au litre (centimètres cubes)	Butyromètre gradué au kilo (centimètres cubes)
Echelle de 50 divisions	0,61904 à 0,62526	0,63889 à 0,64531
Echelle de 60 divisions	0,74347 à 0,74969	0,76731 à 0,77373
Echelle de 70 divisions	0,86790 à 0,87412	0,89573 à 0,90215
Echelle de 80 divisions	0,99233 à 0,99855	1,02415 à 1,03057

Si le butyromètre soumis au contrôle répond à ces conditions, on peut être assuré qu'il donnera le chiffre exact à 0 gr. 25 près au maximum pour un lait dont la richesse est représentée par l'échelle entière. Il donnera une précision plus grande encore pour un lait titrant moins que la graduation totale de l'échelle. Il s'ensuit que l'on pourrait encore se montrer moins exigeant et accepter de plus larges tolérances.

On pourra d'ailleurs, dans chaque cas, déterminer l'erreur du butyromètre en se rappelant que si le volume de l'échelle totale

s'écarter du chiffre théorique du $\pm 0 \text{ cm}^3 01244$ (butyromètre au litre) ou $\pm 0 \text{ cm}^3 01284$ (butyromètre au kilo), l'erreur commise dans la lecture de l'échelle totale sera de \pm une division, c'est-à-dire ± 1 gramme de M. G. De l'écart entre le volume réel trouvé et le volume théorique, on déduira donc aisément par une simple règle de trois l'erreur absolue du butyromètre et on sera juge de le considérer comme utilisable ou non suivant le degré d'exactitude que l'on se propose d'atteindre dans la pratique.

Pour nous, nous estimons qu'un bon butyromètre ne doit pas s'écarter des marges données ci-dessus qui correspondent à une erreur maxima de un quart de gramme.

III. — De l'erreur que l'on commet en utilisant un type de butyromètre pour l'autre

Maintenant que nous avons montré comment il est possible de déterminer à quel type de butyromètre on a affaire et quel est son degré d'exactitude, il nous paraît intéressant de dire, l'intérêt qui s'attache à cette distinction dans la pratique.

Quelle erreur commet-on lorsque, dans l'analyse du lait au litre, on utilise un butyromètre gradué au kilo ou réciproquement ?

Soit un lait titrant A grammes de M. G. par litre. Si on utilise un butyromètre gradué au litre, on lira A divisions.

Si, au contraire, on utilise sans le savoir un butyromètre gradué au kilo, on lira un nombre A' de divisions inférieur à A parce que, ici, les divisions de la graduation sont plus grandes.

Or, ce lait, qui est le même dans les deux cas, contient A grammes de M. G. par litre, c'est-à-dire pour 1.032 grammes de lait. Il contient donc par kilo :

$$\frac{A \times 1.000}{1.032} = 0,97 A \text{ grammes de M. G.}$$

Sur le butyromètre gradué au kilo, le nombre de divisions lues (A') représente précisément cette richesse au kilo. Donc $A' = 0,97 A$.

Autrement dit, pour un lait hypothétique titrant 100 grammes par litre, on lira 100 sur le butyromètre gradué au litre, tandis qu'on ne lira que 97 sur le butyromètre gradué au kilo. L'usage d'un butyromètre gradué au kilo pour une analyse que l'on rapporte au litre, se traduit donc par une erreur de 3% en moins. Ce qui revient à dire que, suivant les laits, on trouvera un chiffre trop faible de 1 gr. à 1 gr. 5 par litre. Il est clair que cet écart peut être à l'origine de certains désaccords et de nombreuses erreurs. La connaissance

exacte du type de butyromètre utilisé permettra d'en éviter le retour.

* * *

TROISIÈME PARTIE

LES BUTYROMÈTRES GERBER SONT-ILS GRADUÉS AU LITRE OU AU KILO ?

Depuis vingt ans, de nombreuses discussions se sont élevées sur la question de savoir si ces butyromètres sont gradués au litre ou kilo. La même question s'est évidemment posée pour les butyromètres d'autres marques.

Les travaux originaux du D^r N. GERBER laissent à penser qu'une graduation du butyromètre créé par lui représente un gramme de matière grasse par kilo de lait. Cependant, depuis cette époque déjà lointaine, il est certain que la maison Gerber a construit également des butyromètres gradués au litre, soit sur la demande expresse de certains clients, soit pour d'autres raisons.

Certains faits seraient même de nature à accréditer l'idée que tous les butyromètres Gerber actuels sont gradués au litre. Ouvrons, en effet, l'ouvrage édité par la maison Gerber elle-même : « Die praktische Milchprüfung » (Le Contrôle pratique du lait), par D^r N. GERBER, édition de 1938, par Karl SCHNEIDER, Verkaufsleiter de la firme Gerber. A la page 17 nous lisons : « d'après KOESTLER et LORTSCHER, la lecture du butyromètre Gerber donne le poids de matière grasse en grammes, pour 100 cm³ de lait » (Zeit. für Unters. Lebens. 57, 48-1929). Le D^r G. KOESTLER était, comme on le sait, directeur de l'Institut Fédéral de Laiterie et Bactériologie à Liebefeld, près de Berne.

D'autre part, en contrôlant les butyromètres Gerber qui sont en service dans notre laboratoire - par les méthodes que nous avons indiquées plus haut, nous avons constaté qu'ils sont effectivement gradués au litre.

Voici le résultat de nos examens :

1^o Contrôle au mercure.

Nous avons soumis à ce contrôle 10 de nos butyromètres Gerber pris au hasard (échelle de 70 divisions).

S'ils sont gradués au litre, nous devons avoir un poids de mercure de :

$$0,8710 \times 13,55 = 11 \text{ gr. } 802$$

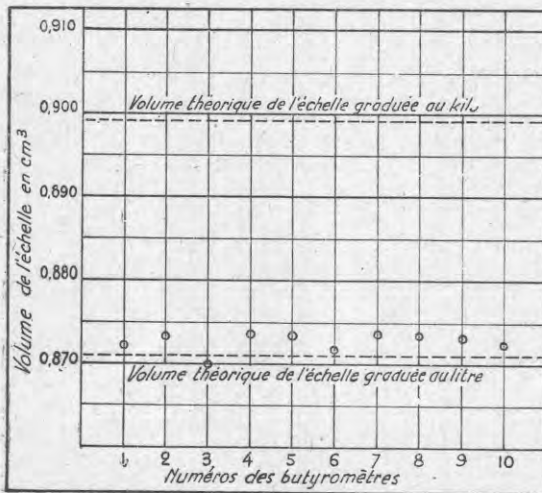
S'ils sont gradués au kilo, nous devons avoir un poids de mercure de :

$$0,8989 \times 13,55 = 12 \text{ gr. } 180$$

Or, voici ce que nous avons observé :

Numéro des butyromètres	Poids de mercure constaté (moyenne de 3 pesées) (grammes)	Vo ume corres- pondant calculé (centi- mètres cubes)	Ecart avec notre chiffre théorique		Ecart A et B exprimés en divisions du butyromètre	
			au litre (A)	au kilo (B)	(B)	(A)
1	11,8200	0,8723	+ 0,0013	— 0,0266	+ 0,10	— 2,14
2	11,8410	0,8738	+ 0,0028	— 0,0251	+ 0,22	— 2,02
3	11,7900	0,8701	— 0,0009	— 0,0288	— 0,07	— 2,32
4	11,8410	0,8738	+ 0,0028	— 0,0251	+ 0,22	— 2,02
5	11,8358	0,8734	+ 0,0024	— 0,0255	+ 0,19	— 2,05
6	11,8142	0,8718	+ 0,0008	— 0,0271	+ 0,06	— 2,19
7	11,8423	0,8739	+ 0,0029	— 0,0250	+ 0,23	— 2,01
8	11,8412	0,8738	+ 0,0028	— 0,0251	+ 0,22	— 2,02
9	11,8343	0,8733	+ 0,0023	— 0,0256	+ 0,18	— 2,06
10	11,8282	0,8729	+ 0,0019	— 0,0260	+ 0,15	— 2,09

Ces butyromètres sont donc incontestablement gradués au litre.
Le graphique ci-contre rendra encore mieux compte de ce résultat.



Notons encore que cette vérification démontre péremptoirement l'exactitude du chiffre que nous avons déterminé pour la densité de la M. G. séparée selon la technique Gerber et considérée à 67°.

2° Comparaison avec la méthode Gottlieb.

Nous avons dosé la M. G. d'un certain nombre de laits par la

méthode Gottlieb (en double) et par la méthode Gerber (six dosages par échantillon). La M. G. obtenue au Gottlieb se rapporte évidemment à un litre de lait. Compte tenu de la densité de chaque échantillon, nous l'avons également ramenée au kilo. Voici les résultats moyens obtenus :

N ^{os} des laits	1	2	3	4	5	6
Gottlieb (au litre)	38,24	40,10	56,20	35,50	37,89	41,22
Gottlieb (au kilo)	37,05	38,83	54,40	34,30	36,72	40,00
Gerber	38,50	40,00	56,00	35,50	37,80	41,20

Il ne fait pas de doute que le chiffre obtenu au Gerber coïncide pratiquement avec le chiffre du Gottlieb au litre — et non pas avec celui du Gottlieb au kilo.

Une étude semblable avait été présentée par M. Ch. BRIOUX au Congrès de l'Alimentation du Bétail bovin et du Contrôle laitier à Paris (1925). Une série de 25 laits frais et une série de 25 laits bichromatés vieux de plusieurs jours avaient été examinés comme nous l'avons fait ci-dessus et avaient conduit à des résultats dont voici la moyenne générale :

	Laits frais	Laits bichromatés
Gottlieb (par litre)	36,50	39,61
Gottlieb (par kilo)	35,38	38,39
Gerber	36,50	39,82

La conclusion est la même que ci-dessus. Il ne s'agit cependant pas des mêmes butyromètres. Ces deux expériences ont été effectuées à 16 ans d'intervalle !

M. BRIOUX, d'ailleurs, s'exprimait ainsi :

« Les butyromètres Gerber employés pour nos analyses étaient des butyromètres originaux, contrôlés, datant pour la plupart d'avant la guerre de 1914, mais certains étaient de fabrication récente.

«

« Nous constatons que pour les laits frais, aussi bien que pour les laits conservés, la méthode Gerber donne des résultats qui s'écartent généralement très peu des dosages en matière grasse par litre fournis par la méthode Gottlieb.

« Pour les 50 laits analysés, la méthode Gerber a fourni des résultats très satisfaisants à condition que l'on admette que la graduation donne le dosage au volume et non au poids, sinon les résultats seraient nettement trop forts. »

Et M. BRIOUX concluait ainsi :

« En prenant comme terme de comparaison la méthode Röse-Gottlieb considérée comme fournissant les résultats les plus exacts pour le dosage de la M. G. du lait, nous trouvons qu'en ce qui concerne la méthode Gerber, les butyromètres originaux que nous savons utilisés sont gradués de telle façon qu'ils donnent des chiffres correspondant à la teneur en grammes de M. G. par litre de lait.

« La même conclusion résulte d'analyses de contrôles effectuées au Laboratoire Central du Ministère de l'Agriculture sur 45 laits pris au hasard. En admettant que ces butyromètres donnent la matière grasse au kilo, on commet une erreur moyenne de 3% en trop.

« Par contre, certains butyromètres fabriqués en France ou à l'étranger donnent directement la teneur en grammes de M. G. par kilo. »

Ainsi, qu'il s'agisse de la comparaison avec la méthode Gottlieb effectuée par M. BRIOUX, ou effectuée par nous 16 ans plus tard — ou bien qu'il s'agisse du contrôle par la méthode au mercure, pour tous les butyromètres Gerber examinés, dont la fabrication remonte soit avant 1914, soit entre 1920 et 1925, soit à ces dernières années, la conclusion est identique : ces butyromètres sont gradués au litre.

3° Nécessité de l'indication précise du mode de graduation.

Que la maison Gerber ait « voulu » graduer ses butyromètres au kilo, comme le pense M. BOURGEOIS dans un article récent (*Union Laitière*, 15-11-41) et que la graduation au litre constatée expérimentalement par plusieurs auteurs (KOESTLER et LORTSCHER, BRIOUX, nous même) ne soit que la preuve d'une imperfection de fabrication, selon l'opinion de M. BOURGEOIS, nous nous permettons d'en douter. Nous pensons plutôt que la maison Gerber avait vraiment deux types de butyromètres et qu'elle réservait les appareils gradués au litre aux pays, comme la France, où les transactions sur le lait se font généralement en volume. On ne peut que regretter l'absence d'une inscription précise sur les butyromètres eux-mêmes, ce qui eût supprimé toute difficulté.

Mais cette discussion sur les intentions réelles de la maison Gerber présente, à notre avis, peu d'intérêt. Il s'agit surtout de savoir si les appareils dont nous nous servons sont gradués au litre ou au kilo et nous avons donné le moyen d'y parvenir avec sécurité.

* * *

Pour l'avenir, la question de la graduation des butyromètres va être définitivement résolue. Sur notre initiative et sur nos conseils,

plusieurs constructeurs français fabriquent actuellement, après une mise au point de six mois, des milliers de butyromètres répondant exactement aux conditions exigées. *Ils seront gradués au litre et cette mention figurera sur la panse des appareils.* Si le besoin se fait sentir de butyromètres gradués au kilo, il sera aussi facile de les fabriquer et la mention correspondante figurera également. Cette manière de faire coupera court à toute discussion et rendra, nous en sommes convaincu, les plus grands services à l'Industrie laitière française.

REVUE

L'INDUSTRIE LAITIÈRE A L'ÉTRANGER

par G. GÉNIN
Ingénieur E. P. C.

ETATS-UNIS

Un nouveau concurrent des matières plastiques à base de caséine

Il est apparu aux Etats-Unis une nouvelle matière plastique dénommée « Mazéine », et qui est vraisemblablement préparée en partant de zéine, constituant essentiel de la protéine du maïs, que l'on trouve dans cette plante, à côté de l'amidon et d'autres constituants et qu'on peut séparer à l'état de poudre granulée blanche. D'après le brevet anglais 492.652, la matière plastique se prépare en faisant un mélange de zéine et de formaldéhyde. Ce produit est malaxé, plastifié, puis moulé. On peut augmenter la plasticité du mélange en lui ajoutant des esters lactiques ou tartriques (brevet anglais 492.657), par addition de sulfone alcoylamide (brevet américain 1.966.604) ou par addition de phtalate de dibutyle (brevet américain 2.115.717).

La zéine se distingue de la caséine par sa solubilité dans beaucoup de solvants organiques comme les glycols, les éthers de glycol et les mélanges d'alcools et d'hydrocarbures. Elle est également compatible avec les résines synthétiques, telles que les glyptals; on a donc envisagé son emploi non seulement pour la fabrication de matières plastiques, mais également pour la préparation des vernis, des couleurs d'imprimerie, des colles, des pellicules pour emballages, etc.

Bien que la zéine ne soit pas facilement soluble dans l'eau et l'alcool purs, elle se dissout assez bien dans un mélange de ces deux produits et on utilise cette propriété pour l'extraire du maïs.

On a également songé à fabriquer des textiles de zéine en dissolvant la zéine dans un solvant organique et en filant dans un bain