

## LA GRADUATION DES BUTYROMÈTRES A LAIT (Etat de la question)

par

JEAN PIEN

La méthode acidobutyrométrique de Gerber fait actuellement l'objet, sur le plan international, de tentatives de standardisation concernant la méthode et surtout le matériel utilisé. Ces tentatives font suite aux prises de position nationales assez nombreuses et quelque peu divergentes qui ont vu le jour ces dernières années et elles se proposent d'essayer d'accorder entre elles ces différentes normalisations locales en vue d'aboutir à un texte unique et international.

Sur un très grand nombre de points cet accord sera facile à obtenir (par exemple, dimensions des différentes parties des butyromètres). Mais il subsistera des points sur lesquels l'unanimité sera presque impossible à réaliser et pour lesquels il faudra, vraisemblablement, accepter que chaque pays conserve ses propres normes : il s'agit du volume des pipettes, c'est-à-dire du volume de lait à introduire dans les butyromètres ; ce problème est lié à la très importante question de la graduation de l'appareil lui-même.

Or, il nous est apparu que cette question de la graduation des butyromètres et des pipettes n'était pas toujours parfaitement connue ou comprise, même des personnes qui ont à les utiliser journellement. Etant donné l'extrême importance de cette question au point de vue technique et surtout économique, nous croyons utile de faire, aussi clairement que possible, le point exact de la question.

Avant d'entrer dans le détail, et pour faciliter la lecture des explications qui vont suivre, nous allons d'abord résumer très simplement l'ensemble de la question de la manière suivante :

1. Le butyromètre Gerber, qui n'a jamais été modifié depuis sa création, possède une graduation dont le volume est égal à 0 ml. 125 par division principale (dix petites divisions). *Il n'y a qu'un seul type de butyromètre Gerber.*

2. Ce butyromètre a été initialement prévu pour donner les résultats en pourcentage pondéral (c'est-à-dire pour 100 grammes ou par kilogramme de lait).

3. Ainsi utilisé (avec la pipette Gerber classique de 11 ml.), *les résultats obtenus par kilogramme ou par 100 grammes de lait sont faux* : ils sont trop élevés d'environ 2,7% du résultat soit environ 1 gramme de matière grasse par kilogramme pour un lait

à 35-40 grammes. Cette constatation a été faite par de nombreux chercheurs dans le monde entier. Il y a unanimité sur le fait. Il subsiste néanmoins de légères divergences sur l'étendue de l'erreur commise.

4. Le résultat serait exact si, au lieu de le rapporter à 100 grammes ou à 1.000 grammes de lait, on le ramenait à une quantité de lait 2,7% plus élevée, c'est-à-dire à 1.027 grammes ou encore, à très peu de chose près, à UN LITRE de lait. En d'autres termes, la méthode Gerber, utilisant la pipette de 11 millilitres et le butyromètre classique, donne presque exactement le *résultat au litre*. L'erreur (en moins) n'est que de 0,4% du résultat, c'est-à-dire environ 0 gr. 14 par litre pour un lait à 35 grammes.

5. Il résulte de ce qui précède que :

a) La méthode Gerber, dans son état initial, n'est pas utilisable pour la détermination exacte de la *matière grasse au kilogramme de lait*. Il faut donc la modifier, soit en adoptant un volume de graduation différent, soit en utilisant une pipette délivrant un volume de lait inférieur à 11 millilitres (c'est la formule généralement adoptée à l'étranger : pipettes de 10 ml. 77 en Hollande, de 10 ml. 75 en Allemagne, etc.), soit en utilisant des formules de correction.

b) En revanche, cette même méthode dans son état initial, conduit à des résultats pratiquement exacts dans la détermination de la *matière grasse au litre de lait*. C'est la raison pour laquelle, dans les pays comme la France où la majorité des transactions sur le lait se font en volume, la méthode Gerber classique, interprétée comme donnant le résultat au litre de lait, n'a jamais donné lieu à de sérieuses objections. D'un point de vue théorique, une légère rectification reste cependant à faire et nous verrons plus loin comment il convient de l'envisager. Mais il faut reconnaître que cette erreur de 0 gr. 14 par litre pourrait être pratiquement négligée dans la majorité des cas.

Tel est, très sommairement, l'état exact de la question.

Nous allons, maintenant, entrer dans le détail de chacun des points exposés ci-dessus et nous en déduisons ensuite les conclusions qui s'imposent.

\*  
\* \*

#### HISTORIQUE DES MÉTHODES ACIDOBUTYROMÉTRIQUES

La connaissance précise de la méthode Gerber nous paraît impliquer l'examen préalable de la méthode Babcock dont elle dérive.

## 1. Les bases de la méthode Babcock.

La méthode Babcock est la plus ancienne des méthodes volumétriques. Elle a pris naissance aux Etats-Unis, dans le Wisconsin, en 1889 [1]. Le *principe* en est le suivant : dans un récipient spécial, en forme de fiole à fond plat et à col mince gradué (butyromètre Babcock), une certaine quantité de lait est mélangée à de l'acide sulfurique ( $d : 1,820$ ) ; la caséine précipite, puis se dissout ; la matière grasse est libérée puis rassemblée au cours de trois centrifugations successives entre lesquelles on procède à des additions d'eau chaude ; on lit le volume de la colonne grasse dans le col gradué après un séjour suffisant de l'appareil dans un bain-marie à 55-60°. Le résultat lu donne le pourcentage en poids de la matière grasse du lait, c'est-à-dire le nombre de grammes de matière grasse contenus dans 100 grammes de lait.

Babcock avait admis, conventionnellement, que la colonne graduée de son butyromètre aurait, pour 10 divisions principales, un volume de 2 millilitres. Ces 2 millilitres de matière grasse « extraite », ayant, suivant Babcock, une densité de 0,9, ce volume correspondrait à un poids de 1 gr. 8 de matière grasse « initiale ». Comme, d'autre part, 10 divisions principales du butyromètre doivent, par définition, exprimer la richesse pondérale d'un lait à 10% de matière grasse, il est facile de déduire la quantité de ce lait à 10% qu'il s'agit d'introduire dans le butyromètre pour que la colonne grasse correspondante représente 1 gr. 8 de matière grasse : il faut évidemment utiliser 18 grammes de lait.

Enfin, comme il n'est pas souhaitable pour une méthode volumétrique rapide de faire une prise d'essai pondérale, il reste à se demander quel volume de lait, correspondant à ces 18 grammes, il faudra prélever. Si l'on admet une densité moyenne de 1,032 pour le lait entier, le volume correspondant aux 18 grammes théoriques devrait être 17 ml. 44. Mais, au lieu de définir la pipette à utiliser par le volume qu'elle devrait « délivrer », Babcock précise qu'elle doit « contenir » 17 ml. 6 entre la pointe et le trait de jauge sans définir les conditions de son emploi autrement qu'en recommandant de « souffler dans la pipette pour chasser ce qui reste dans la pointe »... Dans une étude récente [2] nous avons montré qu'une pipette destinée à « délivrer » 11 millilitres de lait devait avoir une contenance totale de 11 ml. 10 à 11 ml. 12, soit environ 1% de plus que le volume délivré. En appliquant ce rapport à la pipette Babcock, on constate que le volume total contenu dans l'appareil devrait être de 17,61 ce qui est bien voisin des 17 ml. 6 prévus par Babcock. Mais les conditions d'écoulement ne sont pas les mêmes (temps d'attente de 15 secondes, sans souffler dans la pipette...).

Il y a donc plusieurs incertitudes dans les conditions d'évacuation du lait de la pipette Babcock, donc, dans le volume de lait mis en œuvre, et ces incertitudes sont reconnues dans un document officiel [3] où il est dit que la pipette Babcock délivre « *en moyenne* », 18 grammes de lait.

Il y a donc, dans la méthode Babcock, un certain nombre de causes d'erreur dont la plus grave est sans doute l'adoption d'une densité de 0,9 pour la matière grasse « extraite », dans le butyromètre (ce qui est inexact). Nous avons rappelé en détail, dans une étude consacrée aux diverses méthodes de dosage de la matière grasse du lait [4], les insuffisances et les incertitudes de la méthode Babcock dont nous n'hésitons pas à dire qu'elle est une méthode très imparfaite et imprécise.

## 2. Les bases de la méthode Gerber.

Trois ans après les premières publications de BABCOCK, GERBER (en 1892) fait connaître sa méthode [5] qui constitue une amélioration très importante de la précédente.

Certes, le principe de la méthode Gerber est, dans l'ensemble, le même que celui de la méthode Babcock : attaque du lait par l'acide sulfurique et séparation par centrifugation, dans la partie graduée de l'appareil, de la matière grasse libérée.

Mais, alors que dans la méthode Babcock, il est très difficile de rassembler la matière grasse puisque trois centrifugations successives, entrecoupées d'additions d'eau chaude, sont nécessaires pour y parvenir, GERBER a le mérite d'avoir découvert le moyen de faciliter considérablement ce rassemblement de la matière grasse *en une seule centrifugation* par l'adjonction d'alcools gras (notamment alcool isoamylique). D'autres modifications importantes apportées par GERBER au procédé Babcock résident notamment dans la conception du butyromètre, dans le mode de bouchage, dans les conditions de la lecture, etc... [4].

La méthode Gerber constitue donc un progrès considérable sur la méthode Babcock. Elle échappe, en effet, aux principales objections relevées contre cette dernière : la quantité de lait mise en œuvre est nettement précisée (la pipette employée doit « délivrer » réellement et exactement 11 millilitres de lait) ; une seule centrifugation est suffisante ; la lecture est facilitée grâce à la possibilité de déplacer le niveau de la colonne grasse par une manœuvre appropriée du bouchon.

En revanche, la méthode Gerber n'est pas exempte de critiques, dont la plus grave concerne son exactitude qui dépend du mode de graduation du butyromètre utilisé. Nous devons nous demander,

en effet, comment cette échelle graduée a été créée et dans quelle mesure elle est exacte.

### 3. Origine de la graduation des butyromètres Gerber.

La seule méthode indiscutable permettant de définir le volume à donner aux graduations de l'échelle d'un butyromètre consiste à opérer par comparaison avec les résultats obtenus par la méthode pondérale étalon (Röse Gottlieb) : il est indispensable que le nombre de graduations lu conduise au même résultat que la méthode étalon. Il ne s'agit donc pas de savoir si la méthode Gerber donne un résultat identique ou différent de celui de la méthode Röse-Gottlieb : *il faut qu'elle donne les mêmes chiffres que la méthode étalon ; les tubes doivent être gradués de telle manière que ce résultat soit atteint.* En un mot, la méthode volumétrique (c'est-à-dire celle dans laquelle *on lit* le volume occupé par la matière grasse extraite) doit être réglée sur la méthode pondérale (c'est-à-dire celle dans laquelle *on pèse* la matière grasse extraite). Rappelons, à cette occasion, les remarquables travaux théoriques de CADOR et MACHÉREL [6] qui ont posé les bases mathématiques exactes auxquelles on devra toujours se reporter dans l'étude de la graduation des butyromètres. Ils ont notamment indiqué le moyen de déterminer le volume de la graduation unitaire par comparaison avec la méthode Röse-Gottlieb, sans toutefois avoir donné la valeur pratique de ce volume qui devrait résulter de nombreuses expériences pratiques.

Quoi qu'il en soit, lors de la création du butyromètre Gerber, *les choses ne se sont pas passées ainsi.* A cette époque, on ne disposait pas de la méthode étalon rigoureuse que l'on connaît maintenant. Gerber a donné aux graduations de son butyromètre un certain volume en apparence quelconque (0 ml. 125 pour une division principale). Ce volume est resté inchangé jusqu'à nos jours. Il s'agit de savoir si ce volume est correct.

Nous avons dit plus haut que BABCOCK utilisait une pipette « contenant » 17 ml. 6, correspondant « en moyenne » à 18 grammes de lait, c'est-à-dire à 1 gr. 8 de matière grasse dans le cas d'un lait hypothétique renfermant 100 grammes de matière grasse par kilogramme ; l'analyse d'un tel lait, dont la richesse pondérale est égale à 10 %, doit se traduire par la lecture de 10 divisions principales de l'échelle graduée. Cette quantité de 1 gr. 8 étant égale, selon BABCOCK, au poids du corps gras extrait (il admettait, à tort, l'identité de ce corps gras séparé et de la matière grasse initiale introduite), représentait le volume choisi conventionnellement par BABCOCK pour 10 divisions principales soit 2 millilitres (la densité de ce corps gras ayant été, à tort également, comptée

pour 0,9). Donc une division principale du butyromètre Babcock présente un volume de 0 ml. 2 et exprime la richesse d'un lait à 10 grammes de matière grasse par kilogramme (1 % en poids) à condition, cela va de soi, d'utiliser la pipette de 17 ml. 6 de contenance totale qui permet d'introduire dans le butyromètre les 18 grammes de lait indispensables.

GERBER semble bien être parti de la même base. En effet : il préconise l'emploi de 11 millilitres de lait ; si l'on appelle  $x$  le volume d'une graduation principale du butyromètre Gerber et si l'on écrit que le rapport du volume de lait introduit à celui de la graduation correspondante est nécessairement le même dans les deux appareils, on a :

$$\frac{17,6}{0,2} = \frac{11}{x}$$

d'où l'on tire  $x = 0$  ml. 125.

Or ce volume est très exactement celui qui a été « choisi » par GERBER, respecté depuis l'origine, normalisé dans de nombreux pays pour la graduation du butyromètre Gerber ; il exprime la richesse d'un lait renfermant 1 % de matière grasse.

Cette constatation entraîne plusieurs conséquences importantes :

a) Il n'est pas douteux que le butyromètre Gerber possède exactement la même base théorique que le butyromètre Babcock et que, comme ce dernier, il exprime nécessairement la richesse pondérale du lait, c'est-à-dire le nombre de grammes de matière grasse contenus dans un kilogramme (ou dans 100 grammes) de lait.

b) Toutes les erreurs commises par BABCOCK se retrouvent donc implicitement dans le raisonnement de GERBER et il serait, à priori, surprenant que les résultats ainsi obtenus fussent exacts.

c) A toutes ces erreurs, GERBER en a ajouté une autre qui consiste à avoir mis en parallèle la pipette créée par lui, devant délivrer 11 millilitres de lait et celle de BABCOCK dont la contenance totale était de 17 ml. 6. En fait, la pipette de BABCOCK ne délivre (approximativement et en moyenne) que 17 ml. 44 de lait. Si GERBER avait pris ce chiffre comme base de comparaison, il eût abouti, comme volume de la division principale, à 0 ml. 1261. En prenant 0 ml. 125, il a augmenté les erreurs résultant de l'adoption implicite des incorrections initiales de BABCOCK.

Quoi qu'il en soit des origines réelles de la graduation GERBER (que nous avons, d'une manière très plausible, raccordée à celles de la graduation BABCOCK) il est, actuellement, hors de doute que :

— une division principale de l'échelle GERBER vaut 0 ml. 125 ;

— cette division représente 10 grammes de matière grasse par kilogramme de lait.

Telle est, d'ailleurs, l'opinion de ROEDER — le meilleur spécialiste de la question — depuis plus de trente ans [7].

\*  
\* \*  
\*

### LA GRADUATION DU BUTYROMÈTRE GERBER N'EST PAS EXACTE POUR DES RÉSULTATS EN POUR CENT PONDÉRAUX

A l'origine des butyromètres, les méthodes gravimétriques étaient encore un peu incertaines et l'on n'avait pas besoin d'une grande précision dans le dosage de la matière grasse du lait. On constatait une bonne concordance pratique entre les deux groupes de méthodes (gravimétriques et volumétriques).

Mais, au fur et à mesure de l'amélioration des techniques analytiques, on s'est aperçu que la méthode Gerber donnait (par kilogramme de lait) des résultats supérieurs à ceux de la méthode Röse-Gottlieb (exprimés, eux aussi, par kilogrammes de lait).

Voici quelques-uns des principaux travaux qui ont apporté cette précision :

En 1929, KOESTLER [8] démontre que la méthode Gerber donne des résultats trop élevés de 1 gramme environ par kilogramme de lait (soit 3 % en moyenne de matière grasse).

Plus récemment (1941) un comité d'enquête néerlandais [9], aboutit à cette conclusion que les résultats selon GERBER sont trop élevés de 1,9 % de la matière grasse et que, pour aboutir à des résultats exacts, il faudrait utiliser une pipette délivrant 10 ml. 79 au lieu de 11.

En 1942, nous avons nous-même montré [10] que la graduation d'un butyromètre gradué « au kilogramme » devrait avoir un volume de 0 ml. 12846 (et non pas 0 ml. 125 comme dans le butyromètre Gerber), ce qui impliquait, selon nous, que le butyromètre Gerber donnait des résultats excédentaires de 2,7 %.

En 1946, JANSE [11] aboutit à des conclusions analogues et ajoute qu'il faudrait multiplier les résultats selon Gerber par 0,981 pour avoir un résultat correct (exprimé au kilogramme de lait).

En 1947, TAM SMA et ses collaborateurs [12] constatent que les résultats selon GERBER sont trop élevés de 2 % et calculent que les graduations devraient avoir un volume de 0 ml. 1277. L'intérêt de ce travail repose sur le fait que les bilans de matière grasse dans la fabrication du beurre, réalisés avec tout le soin désirable, font apparaître un déficit de 2 % si le lait mis en œuvre est analysé par

la méthode Gerber. Il y avait là une confirmation pratique des considérations analytiques.

En 1948, ROEDER [13] admet que le butyromètre Gerber actuel donne des résultats trop élevés et calcule que sa graduation devrait avoir un volume de 0 ml. 1285 (chiffre très voisin du nôtre, ainsi que le reconnaît ROEDER lui-même) (1). Mais cet auteur, pour de nombreuses raisons, préfère maintenir le volume actuel (0,125) et propose l'adoption d'une pipette à lait d'un volume inférieur à 11 ml. (10 ml. 70).

En 1951, RADÉMA et MULDER [14] aboutissent à des conclusions identiques et proposent soit l'adoption d'une pipette de 10 ml. 77, soit l'application de la formule suivante :

$$\text{Gerber} = \text{Röse-Gottlieb} \times 1,040 - 0,070.$$

En 1948, MACHEREL [15] se basant sur les déterminations analytiques de VLEESCHAUWER et HENDRICKX, aboutit à la même conclusion que les auteurs précédents.

La conclusion est donc unanime et formelle : le butyromètre Gerber classique (volume de graduation 0 ml. 125) donne des résultats trop élevés pour 100 grammes de lait. Mais, ainsi qu'on a pu le voir, il n'y a pas unanimité absolue sur la correction à faire intervenir, parce que les résultats analytiques obtenus ne sont pas concordants suivant les auteurs. Nous pensons qu'il faudra de nombreux travaux, encore plus exacts, pour aboutir à une conclusion définitive.

\*  
\* \*

#### LA GRADUATION DU BUTYROMÈTRE GERBER EST PRATIQUEMENT EXACTE POUR DES RÉSULTATS EN POUR CENT VOLUMÉTRIQUE

Tout ce qui vient d'être dit démontre clairement :

— que le butyromètre Gerber est, depuis l'origine, prévu pour donner les résultats de l'analyse en grammes de matière grasse pour 100 grammes (ou par kilogramme) de lait ;

— que, pratiquement, considéré comme établi sur cette base, sa graduation est inexacte et donne des résultats (au kilogramme) trop élevés de 2,5 à 3 %.

Or, un litre de lait pèse en moyenne 1.032 grammes et contient évidemment  $\frac{1.032}{1.000}$  fois autant de matière grasse que 1 kilogramme de lait, soit 3,2 % de plus.

(1) Cette valeur coïncide presque exactement avec celle qui, d'après les travaux de Pien (absolument indépendants et différents des nôtres), devrait servir de base à une échelle graduée en pour cent pondéral. (Roeder, 1948), [13].

Cette différence est, à peu de chose près, égale à l'erreur par excès que l'on commet en appliquant la méthode Gerber classique et en exprimant le résultat au kilogramme. Autrement dit, la méthode Gerber donne à peu près exactement la teneur en matière grasse *au litre* de lait.

*Exemple.* — Soit un lait titrant 34 grammes de matière grasse au litre, c'est-à-dire 32,94 au kilogramme.

La méthode Gerber classique (sur 11 millilitres de lait), donnera comme résultat :

$$32,94 + 3\% \text{ (environ), soit } 33 \text{ gr. } 93.$$

Ce résultat est très voisin du résultat théorique exprimé *au litre*.

C'est ce qui a fait dire à de nombreux auteurs que le butyromètre Gerber était gradué au litre et non au kilogramme de lait — ou, en tout cas, que les résultats qu'il donne sont beaucoup plus voisins du résultat rapporté au litre que du résultat rapporté au kilogramme.

Ainsi, BRIOUX, en 1925 [16], comparant les résultats du Gerber à ceux de la méthode Röse-Gottlieb exprimés au litre et au kilogramme, démontre qu'il y a identité pratique entre le Gerber et le Röse-Gottlieb/litre.

KOESTLER et LORTSCHER, en 1929 [8], concluent dans le même sens.

CHAIINEUX et SIMONART, en 1938 [17], montrent que les résultats du Gerber s'écartent de 0,66 % des chiffres réels exprimés au litre et de 2,33 % des chiffres réels exprimés au kilogramme. Pour ces auteurs, le butyromètre Gerber « n'est gradué ni au litre ni au kilogramme », mais les résultats qu'il donne se rapprochent beaucoup de ceux du litre.

HOSTETTLER et HÄNNI, en 1947 [18], concluent que la méthode Gerber classique doit être interprétée comme donnant le chiffre de matière grasse pour 100 millilitres (ou par litre) de lait.

Nos propres essais [10] nous avaient permis d'aboutir aux mêmes conclusions que les auteurs précédents.

CADOR et MACHEREL [6], dans leur belle étude théorique de la graduation des butyromètres, confirment que les butyromètres Gerber ne donnent les résultats ni au litre ni au kilogramme, mais donnent une teneur en matière grasse intermédiaire, plus voisine de celle du litre.

On s'explique maintenant pourquoi les butyromètres Gerber, qui ont toujours été utilisés, en France, comme devant donner la richesse du lait au litre, n'aient jamais causé de difficultés sérieuses et n'aient pas été critiqués dans notre pays, où les transactions sur le lait sont volumétriques. En revanche, dans les pays où les transactions sont pondérales et où l'on a toujours demandé à la méthode

Gerber de donner les résultats au kilogramme (ou pour 100 grammes) des difficultés se sont élevées.

\*  
\* \*

#### LES REMÈDES A APPORTER A CETTE SITUATION

Quelle que soit la manière d'exprimer le résultat de l'analyse (au litre ou au kilo) ce sont les méthodes pondérales — notamment la méthode Röse-Gottlieb, adoptée officiellement par la Fédération Internationale de Laiterie — qui doivent servir d'étalon. Les méthodes volumétriques ou acidobutyrométriques (Babcock, Gerber...) *doivent* donner des résultats identiques à ceux des méthodes pondérales. Et si tel n'est pas le cas, *il faut modifier les méthodes volumétriques.*

Donc, la méthode Gerber doit être modifiée, surtout si on lui demande de fournir des résultats en pour cent pondéral (c'est-à-dire pour 100 grammes ou par kilogramme de lait).

Il y a plusieurs manières de résoudre ce problème :

- ou bien modifier le volume de lait mis en œuvre en changeant le volume de la pipette,
- ou bien modifier la graduation des butyromètres,
- ou bien employer des formules de correction.

Etudions rapidement ces trois remèdes possibles.

#### 1. Modification du volume des pipettes.

Deux cas sont à considérer :

1° *On demande à la méthode Gerber de donner le résultat en pour cent pondéral.*

Plusieurs pays étrangers ont adopté officiellement des pipettes à lait délivrant un volume inférieur aux 11 millilitres de la pipette Gerber classique.

Les autorités néerlandaises, à la suite des travaux de RADEMA et MULDER [15], ont adopté l'usage de la pipette de 10 ml. 77 (norme n° 962, d'octobre 1951) [19].

En Allemagne, des normes officielles ont été adoptées prescrivant l'usage d'une pipette de 10 ml. 75 [20].

(Dans les deux cas, le volume de la graduation du butyromètre reste égal à 0 ml. 125.)

Ainsi modifiée par la quantité de lait mise en œuvre, la méthode Gerber donne des résultats corrects par kilogramme (ou pour 100 grammes) de lait.

2° On demande à la méthode Gerber de donner le résultat en pour cent volumétrique.

A vrai dire, cette éventualité n'a jamais été envisagée à l'étranger.

En France (et dans les pays où les transactions sur le lait se font en volume) le problème de la modification du volume des pipettes ne s'est jamais posé car, ainsi que nous l'avons rappelé plus haut, la méthode Gerber classique — avec une pipette de 11 millilitres — conduit à des résultats *pratiquement* exacts si les résultats sont rapportés au litre. En toute rigueur, en opérant ainsi, il subsiste une légère erreur. En effet : si l'on prend comme base les travaux de ROEDER [13] qui sont les plus complets et les meilleurs sur cette question, on s'aperçoit que le butyromètre théorique devrait avoir une graduation de 0 ml. 1285 pour un appareil gradué au kilogramme et de 0 ml. 1245 pour un appareil gradué au litre, en utilisant une pipette de 11 millilitres.

En appelant  $x$  le volume de la pipette qu'il faudrait employer pour avoir un résultat exact au litre avec le butyromètre Gerber dont la graduation vaut 0 ml. 125 et sachant que, pour avoir le même résultat exact au litre avec la pipette de 11, il faut une graduation de 0 ml. 1245, nous pouvons écrire que, dans ces deux hypothèses, le rapport du volume de lait utilisé à celui du volume de la graduation correspondante doit être la même, soit :

$$\frac{x}{0,125} = \frac{11}{0,1245}$$

d'où  $x = 11$  ml. 044.

Tel est le volume de la pipette à employer, avec le butyromètre Gerber actuel pour obtenir des résultats « au litre » corrects. On voit que ce volume est très peu différent du volume de la pipette classique de 11 millilitres et cela confirme ce que nous disions plus haut : la méthode Gerber classique (avec le butyromètre de graduation 0,125 et la pipette de 11 millilitres) donne, à très peu de chose près, le résultat exact par litre de lait. En fait, la légère erreur commise dans ces conditions est égale à :

$$\frac{11 - 11,044}{11,04} \times 100 \text{ soit : } - 0,4\%.$$

(Sur un lait à 35 grammes par litre, cette erreur se traduit par un déficit de 0 gr. 14 par litre.)

*En résumé :*

Si l'on veut, pour la rendre exacte, modifier la méthode Gerber

en utilisant des pipettes d'un autre volume que celle de 11 millilitres actuelle, il faut :

a) Pour avoir les résultats au kilogramme, utiliser une pipette de 10 ml. 75 ou 10 ml. 77 (suivant les nouvelles normes allemandes et hollandaises) ;

b) Pour avoir les résultats au litre, utiliser une pipette de 11 ml. 044.

## 2. Modification de la graduation du butyromètre.

Une autre manière de corriger la méthode Gerber consiste à modifier, non plus la pipette classique de 11 millilitres, mais la graduation de l'appareil lui-même. Cela amènerait évidemment à concevoir deux types de butyromètres, l'un gradué « au litre », l'autre gradué « au kilogramme » — de même que, précédemment, il nous fallait adopter deux types de pipettes différents.

Nous avons depuis longtemps proposé cette solution [10] et indiqué les volumes de graduation qu'il fallait, à notre avis, adopter et que la plupart des fabricants français utilisent d'ailleurs couramment avec succès : dix-sept ans de pratique ont permis de montrer que les butyromètres construits sur nos indications conduisaient à de très bons résultats.

Rappelons les volumes des graduations auxquels nos études nous avaient permis d'aboutir et comparons-les à ceux que ROEDER [13] a lui-même préconisés (six ans plus tard), à la suite de ses longues et remarquables études théoriques et pratiques sur cette question :

	Butyromètres gradués au kilo	au litre
<i>Volume d'une graduation principale (10 petites divisions), en ml., dans :</i>		
— le butyromètre théorique de Roeder . . . . .	0,12850	0,12450
— notre butyromètre français . . . . .	0,12842	0,12443

Rappelons que le butyromètre Gerber (dont il n'existe qu'un seul modèle) possède un volume de graduation de 0 ml. 125.

Considérant que c'est le butyromètre théorique de Roeder qui doit être tenu pour l'étalon absolu, il est facile de calculer les erreurs commises (par rapport à ce dernier) en utilisant le butyromètre Gerber et nos butyromètres français.

	Résultats exprimés	
	au kilo	au litre
1. <i>Erreur commise en utilisant le butyromètre Gerber</i> . . . . .	+ 2,72 %	— 0,40 %
— soit pour un lait à 35 gr. au kilo . . . . .	+ 0,95 gr.	
— soit pour un lait à 35 gr. au litre . . . . .		— 0,14 gr.

	Résultats exprimés	
	au kilo	au litre
2. <i>Erreur commise en utilisant nos butyromètres français :</i>		
a) gradués au kilo .....	+ 0,062 %	—
soit pour un lait à 35 gr. au kilo .....	+ 0,02 gr.	—
b) gradués au litre .....	—	+ 0,056 %
soit pour un lait à 35 gr. au litre .....	—	+ 0,019 gr.

Ce qui peut se résumer pratiquement de la manière suivante :

1° Le butyromètre Gerber donne *par kilogramme* un résultat excédentaire d'environ 1 gramme pour un lait de richesse moyenne, et *par litre* un résultat déficitaire d'environ 0 gr. 14 pour ce même lait ;

2° Nos butyromètres français (gradués au kilogramme ou gradués au litre) donnent l'un et l'autre, un résultat excédentaire de 0 gr. 02 par kilogramme ou par litre, pour un lait de richesse moyenne, *ce qui est absolument négligeable*. C'est pourquoi nous avons pu écrire en 1955 [4] qu'il y avait identité pratiquement absolue entre les butyromètres construits en France sur nos indications et les normes théoriques de ROEDER.

Signalons que le butyromètre français *gradué au litre*, normalisé par l'AFNOR (norme V 04-210, homologuée le 31 mars 1954, *Journal officiel* du 23 avril 1954) a été établi à notre demande, *sur la base théorique de l'étalon de Roeder* soit 12 mm<sup>3</sup> 45 ( $\pm 0$  mm<sup>3</sup> 1) pour le volume d'une petite division (ou 0 ml. 1245 pour une graduation principale de 10 petites divisions).

Enfin, lorsque l'on compare les résultats obtenus avec les butyromètres français et ceux donnés par la méthode pondérale Röse-Gottlieb (exprimés au litre ou au kilogramme suivant les cas), *il y a identité* — ou, du moins, les écarts constatés ne sont pas supérieurs à la marge d'incertitude inhérente à chacune de ces méthodes.

*Le but recherché : concordance entre les méthodes gravimétriques et les méthodes volumétriques, est donc atteint avec les butyromètres français.*

### 3. Emploi de formules de correction.

Nous n'insisterons pas sur cette manière de faire qui présente des inconvénients pour la pratique courante.

Signalons seulement que RADEMA et MULDER [14] ont proposé l'application de la formule suivante pour obtenir des résultats corrects *au kilogramme* avec le butyromètre Gerber classique et la pipette de 11 millilitres :

$$x = \frac{G + 0,07}{1,04}$$

où  $G$  = le résultat lu au Gerber (en %),

$x$  = le résultat exact en grammes pour 100 grammes de lait.

Cette formule est évidemment liée aux travaux de ces auteurs, qui ont recommandé la pipette de 10 ml. 77 (sans formule de correction). Il est certain que si l'on se basait sur les travaux théoriques de ROEDER on aboutirait à une formule de correction différente (conduisant à une correction plus importante dans le cas des résultats au kilogramme).

La correction à employer dans le cas de résultats *exprimés au litre* serait beaucoup plus faible d'après ce que nous avons dit précédemment. Dans la pratique, on pourrait la négliger sans grande erreur.

Quoi qu'il en soit, nous pensons que ce n'est pas dans cette voie qu'il faut s'engager pour corriger la méthode Gerber, car il en résulterait une complication et de nouvelles sources d'erreur. Mieux vaut s'adresser à l'un des deux remèdes étudiés plus haut (modification de la pipette ou modification de la graduation des butyromètres).

\*  
\* \*

#### CONCLUSIONS

1° Le butyromètre Gerber actuel, utilisé avec la pipette de 11 millilitres classique, donne :

— des résultats au kilogramme de lait qui sont faux, par excès, d'environ 1 gramme de matière grasse ;

— des résultats au litre de lait qui sont presque exacts (erreur par défaut de 0 gr. 14 de matière grasse pour un lait à 35 grammes).

2° *Un premier remède* à cette situation consiste à conserver le butyromètre Gerber classique (volume d'une division principale = 0 ml. 125) et à utiliser des pipettes différentes :

— pour obtenir des résultats au kilogramme : pipette de 10 ml. 75 ou 10 ml. 77 suivant les auteurs ;

— pour obtenir des résultats au litre : pipette de 11 ml. 044 d'après les travaux de ROEDER qui recourent les nôtres.

Dans ce dernier cas (résultats au litre), on voit que l'usage de la pipette classique de 11 millilitres pourrait être maintenu, puisque l'erreur ainsi commise est faible (— 0 gr. 14 pour un lait de richesse moyenne).

3° *Un deuxième remède* à cette situation consiste à conserver la pipette classique de 11 millilitres et à modifier la graduation des butyromètres en suivant les indications de ROEDER qui prescrit comme volume de graduation principale :

- pour le butyromètre gradué au kilogramme : 0 ml. 1285 ;
- pour le butyromètre gradué au litre : 0 ml. 1245.

Les butyromètres français gradués sur nos indications sont extrêmement voisins des butyromètres théoriques selon ROEDER (0 ml. 12842 et 0 ml. 12443) et leur emploi ne conduit, par rapport à ces derniers, qu'à une erreur absolument insignifiante : + 0 gr. 02 par kilogramme ou par litre. En d'autres termes, on peut affirmer que les butyromètres français matérialisent les butyromètres théoriques de ROEDER (qui n'ont jamais été construits).

4° Quant à la question de savoir quel est celui de ces deux remèdes qu'il vaut mieux adopter, il est difficile de trancher; car les deux méthodes présentent des avantages et des inconvénients. Sur le plan international la tendance est à la modification des pipettes; ce qui revient à dire que l'on décide de conserver un butyromètre dont on sait qu'il est faux et que l'on entend corriger cette erreur en agissant sur un autre élément de la méthode. Pour nous, nous pensons qu'il est plus rationnel, puisque le butyromètre Gerber est unique et faux, de créer les deux types de butyromètres, qui répondent aux deux catégories de besoins (gradués au litre ou gradués au kilogramme) et, par-dessus tout, de faire en sorte qu'ils soient exacts. (Au reste, c'est dans cette voie que l'on est entré en France depuis de nombreuses années.)

5° Pratiquement, que résulte-t-il de tout ce qui précède pour nous, analystes français ?

a) *Ceux d'entre nous qui utilisent le butyromètre Gerber* (il n'en est que d'une sorte) doivent :

- s'ils désirent des résultats au kilogramme, utiliser une pipette de 10 ml. 75 ;
- s'ils désirent des résultats au litre (ce qui est le cas général) continuer à utiliser la pipette Gerber classique de 11 millilitres, qui n'entraîne, dans ce cas, qu'une erreur très faible (— 0 gr. 14 par litre pour un lait à 35 grammes) pratiquement insignifiante dans la majorité des cas.

b) *Ceux d'entre nous qui utilisent les butyromètres français* (gradués au kilogramme ou gradués au litre suivant nos indications), doivent continuer à utiliser la pipette classique de 11 millilitres. En opérant ainsi, les résultats obtenus peuvent être tenus pour exacts (« l'erreur théorique » commise ne dépasse pas + 0 gr. 02 par litre ou par kilogramme — ce qui est absolument négligeable).

#### SUMMARY

The present Gerber butyrometer, used with the classic 11 ml pipette, produces :

— On a liter of milk, results which are false by about one gram of fatty substance too much ;

— On a liter of milk, results which are almost exact (Error : 0,14 gram of fatty substance too little from milk with a percentage of 35 grams).

Two methods of correction are proposed : either using different pipettes or modifying the scale of the butyrometers, the international tendency being to modify the pipettes.

The author believes that it would be more reasonable to create the type of butyrometers graduated respectively by the liter or the kilo.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] S. M. BABCOCK, Seventh Ann. Report Agr. Exp. St. University of Wisconsin, 1889.  
(Voir aussi Wisconsin Agr. Exp. St. Bull., 1890, 24).
- [2] J. PIEN. XIV<sup>e</sup> Congrès Intern. de Laiterie, Rome 1956. *Le Lait*, 1957, 37, 395 à 404.
- [3] Circulaire n<sup>o</sup> 9 du Bureau des Standards du Ministère du Commerce U. S. A., 1923.
- [4] J. PIEN. Mises au point de Chimie analytique (publiées sous la direction du P<sup>r</sup> J. A. GAUTIER), 3<sup>e</sup> série, 85 à 132. Masson éditeur, 1955.
- [5] GERBER. *Milch. Zeitung*, 1892, 891 ; 1893, 363 et 656 ; 1895, 169.
- [6] CADOR et MACHEREL. *Le Lait*, 1945, 289.
- [7] G. ROEDER. *Milchwirtsch. Forschung*. 1928, 258.
- [8] G. KOESTLER et W. LOERTSCHER. *Zeitsch. f. Lebensm. Untersuch. und Forsch.* 1929, 57, 49.
- [9] B. VAN DER BURG et A. F. TAMSMA. Rapport hollandais analysé in *Dairy Sc. Abstr.*, 1946, 7 (4), 287.
- [10] J. PIEN. *Le Lait*. 1942, 22.
- [11] L. C. JANSE. *Chem. Weekbl.* 1946, 42 (41), 284.
- [12] TAMSMA, JANSSEN, PASSENIER. *Neth. Milk and Dairy J.* Avril 1947, 78.
- [13] G. ROEDER. *Zeitsch. f. Lebensm. Unters und Forsch.* 1948, 88, 461.
- [14] L. RADEMA et H. MULDER. *Netherl. Milk and Dairy J.*, 1951. 104.
- [15] P. MACHEREL. *Le Lait*, 1948, 515.
- [16] Ch. BRIOUX. *Le Lait*, 1926, 6, 766.
- [17] G. CHAINEUX et P. SIMONART. *Agricultura* (Louvain). Septembre 1938.
- [18] H. HOSTETTLER et HANNI. *Mitteil. Lebensm. und Hyg.*, 1947, 38, 354.
- [19] *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 1952, 6, 62.
- [20] *Milchwissenschaft*, juin 1953, 237 (D. I. N., 12.837).