Zeitschrift: Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit

Band: 70 (1979)

Heft: 2

Artikel: La mesure de la couleur du lait et des produits laitiers par photométrie de réflexion (méthode tristimulus)

Autor: Bosset, J.O. / Martin, Brigitte / Blanc, B.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-983718

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Trav. chim. aliment. hyg. **70**, 203—227 (1979)
Présenté le 19 janvier 1978. Accepté le 24 avril 1979

La mesure de la couleur du lait et des produits laitiers par photométrie de réflexion (méthode tristimulus)

J. O. Bosset, Brigitte Martin et *B. Blanc*
Station fédérale de recherches laitières, Liebefeld-Berne

Introduction

La couleur et l'aspect des aliments — des produits laitiers notamment — jouent un rôle primordial pour le consommateur. Aussi importe-t-il de disposer de méthodes simples, rapides, sensibles et précises pour les contrôles de fabrication de tels produits, comme la détermination objective de leurs propriétés réflectives. La mesure de la couleur des fromages à pâte dure a fait l'objet d'une étude séparée (1). Le présent travail est consacré au lait et à divers produits laitiers industriels.

Partie I:

Influence de l'homogénéisation et du traitement thermique sur les propriétés réflectives du lait

La première partie de ce travail a pour but de déterminer les modifications des propriétés réflectives du lait soumis à quelques traitements technologiques usuels bien définis, à savoir:
— divers degrés d'homogénéisation (sans traitement thermique additionnel);
— divers traitements thermiques (sans et avec homogénéisation additionnelle).

Le choix du lait comme «matériau d'investigation» s'explique par son importance au point de vue nutritionnel et en tant que produit de base pour la fabrication de tous les produits laitiers. Le lait offre en outre une matrice idéale pour une telle étude.

Equipement et méthode d'analyse

Les mesures ont été effectuées selon la méthode dite «tristimulus» (2) au moyen d'un photomètre à réflexion Hunterlab D25D-2 équipé d'une tête de mesure de

type A (renversée, ouverture en haut)* et d'une cellule de mesure* spécialement développée pour les échantillons liquides, pâteux ou pulvérulents (3). Sauf indication contraire, l'échantillon est introduit directement dans la cellule de mesure, sans préparation préalable. Une attention toute particulière doit être accordée à l'homogénéité de l'échantillon (brassage soigneux au moyen d'une petite spatule non abrasive pour le fond de la cuvette de mesure).

Les conditions de mesure sont les suivantes:

— géométrie optique: 45 ° (éclairage symétrique)/0 ° (observation)
— illuminant-standard: C (selon la Commission internationale de l'éclairage)
— condenseur optique: réglé sur la position de plus forte focalisation
— mesures sans filtre UV
— étalonnage: au moyen du «standard» dont la couleur se rapproche le mieux de celle de l'échantillon à mesurer**.

La lecture des résultats se fait dans le système orthogonal L, a et b selon *Hunter* (2) caractérisé par:

— une luminance L: L = O : noir (minimum); L = 100 : blanc (maximum)
— une composante a: a < O : vert; a = O : neutre; a > O : rouge
— une composante b: b < O : bleu; b = O : neutre, b > O : jaune.

Procédés technologiques

L'homogénéisation — sans traitement thermique additionnel*** — du lait écrémé et du lait frais entier a été obtenue au laboratoire au moyen d'un homogénéisateur Gaulin à un étage (modèle 15 M), assurant successivement des pressions de 50, 100, 200, 300 et 400 bars.

L'influence des traitements thermiques sur la couleur du lait frais entier a été étudiée sans homogénéisation additionnelle, puis combinée à une homogénéisation constante donnée (200 bars, 50 °C***). Les conditions d'homogénéisation sont donc identiques pour toutes les variantes choisies pour le traitement thermique du lait, soit:

— variante I: aucune élévation de température*** (sert de référence)
— variante II: 15 s à 72 °C (pasteurisation à 72 °C)
— variante III: 20 s à 92 °C (pasteurisation à 92 °C)
— variante IV: 2,3 s à 150 °C (UHT-direct)
— variante V: 14 s à plus de 100 °C (max. 141 °C; UHT-indirect)
— variante VI: cuisson (jusqu'à la montée du lait).

* De la maison Hunter (Fairfax, Virginia 22030, USA). La cellule peut être obtenue auprès de la maison H. A. Sarasin AG, Chemisch-technische Geräte, CH-4010 Basel, qui assure en Suisse la représentation de Hunter.

** Un jeu de 6 plaques métalliques émaillées (blanche, noire, rouge, verte, jaune et bleue), de couleurs L, a, b données et stables, permet l'étalonnage de l'appareil.

*** Un léger échauffement des laits à 50 °C est toutefois nécessaire pour assurer un fonctionnement correct de l'homogénéisateur.

Provenance des échantillons

Le lait entier frais utilisé pour ce travail est un lait de mélange, provenant d'un cheptel important de vaches de la race tachetée rouge du Simmental. Le lait écrémé a été obtenu par centrifugation du même lait.

Résultats expérimentaux et discussion

L'affichage digital de l'appareil utilisé permet de lire uniquement le premier chiffre après la virgule (arrondi automatiquement par excès ou par défaut). Les écarts extrêmes obtenus lors de la détermination à double des valeurs L, a, b des laits entier et écrémé n'excèdent jamais un dixième, ce qui montre la précision de l'appareil utilisé ainsi que l'homogénéité des laits mesurés. Les valeurs données dans la présente étude sont les moyennes de ces déterminations à double, arrondies au dixième.

Influence de l'homogénéisation du lait

L'influence spécifique de l'homogénéisation sur la couleur du lait — en l'absence de tout traitement thermique additionnel — est indiquée par le tableau 1. Elle n'est pas la même pour le lait entier et pour le lait écrémé.

Tableau 1. Influence de quelques homogénéisations (sans traitement thermique additionnel[1]) sur des laits écrémé et entier[2]

Pression (bar) d'homogénéisation	Lait écrémé			Lait entier		
	L	a	b	L	a	b
0[3]	92,8	—5,8	+11,8	93,7	—2,3	+14,8
50	93,0	—5,6	+11,8	95,0	—2,1	+13,1
100	93,0	—5,6	+11,8	95,3	—2,0	+12,9
150	93,0	—5,6	+11,8	95,5	—2,0	+12,7
200	93,0	—5,6	+11,8	95,5	—2,0	+12,6
300	—	—	—	95,6	—2,0	+12,4
400	—	—	—	95,8	—2,0	+12,3

[1] Un léger échauffement (environ 50 °C) est indispensable
[2] Le photomètre est étalonné avec le standard blanc
[3] Sert de référence

Le lait écrémé — les caséines en l'occurrence — semble subir une légère homogénéisation qui se traduit par une augmentation faible de L ($\Delta L \leqslant +0{,}2$) et par une augmentation faible, en valeurs algébriques de a ($\Delta a \leqslant +0{,}2$), ce qui équivaut à une diminution de la composante (négative) «verte» de a. La composante b reste en revanche constante ($\Delta b \cong 0$).

Le lait entier — les globules gras essentiellement — subit une forte homogénéisation qui se traduit par une augmentation importante de L ($\Delta L \leqslant +2{,}0$), par une augmentation plus faible, en valeurs algébriques, de a ($\Delta a \leqslant +0{,}3$) et par une diminution très marquée de b ($\Delta b \leqslant -2{,}5$). Ces variations doivent être attribuées à une forte augmentation du nombre et de la surface des globules gras par suite de leur fragmentation, ainsi qu'à une dispersion plus homogène de ces globules et de leur contenu en vitamine A et en β-carotène (4) dans la phase aqueuse. L'effet dominant est une augmentation de la diffusion lumineuse (loi de Reyleigh). Comme on pouvait le prévoir, les variations de L, a et b ne sont pas proportionnelles à l'augmentation de la pression d'homogénéisation. La comparaison des valeurs de L, a et b des laits écrémé et entier — qui ne diffèrent que par leur teneur en matière grasse — confirme encore l'impression visuelle bien connue: le lait écrémé apparaît moins brillant, plus vert et moins jaune que le lait entier.

Influence du traitement thermique du lait entier

L'influence spécifique de quelques traitements thermiques usuels sur la couleur du lait entier est assez marquée, comme le montre le tableau 2. Elle dépend du degré d'homogénéisation de ce lait.

Tableau 2. Influence de quelques traitements thermiques (sans et avec homogénéisation additionnelle) sur un lait entier[1]

Traitement thermique (température/durée)	Sans homogénéisation additionnelle			Avec homogénéisation à 200 bars[2]		
	L	a	b	L	a	b
I. Aucun (référence)	93,7	—2,3	+14,8	95,5	—2,0	+12,6
II. Pasteurisation: 72 °C/15 s	93,6	—2,5	+14,8	95,6	—2,1	+12,7
III. Pasteurisation: 92 °C/20 s	94,8	—3,0	+15,1	96,5	—2,6	+13,2
IV. UHT direct: 150 °C/2,3 s	96,5	—3,0	+13,8	96,9	—2,8	+13,1
V. UHT indirect: > 100 °C/14 s[3]	96,4	—3,7	+15,1	97,5	—3,1	+13,3
VI. Cuisson (jusqu'à montée du lait)[4]	95,1	—3,4	+15,5	97,0	—2,8	+13,5

[1] Le photomètre est étalonné avec le standard blanc
[2] à 50 °C, température de fonctionnement minimale
[3] maximum 141 °C
[4] dans marmite sur plaque électrique

On constate que le traitement thermique* provoque une augmentation relativement importante de L ($\Delta L \leqslant +2{,}0$) — tout comme l'homogénéisation — mais en revanche une diminution marquée, en valeurs algébriques, de a ($\Delta a \leqslant -1{,}1$) et une augmentation sensible de b ($\Delta b \leqslant +0{,}9$). Les effets de l'homogénéisation et du traitement thermique sont donc cumulatifs pour L, mais se compensent partiellement pour a et b.

* A homogénéisation additionnelle constante (200 bars)

La diminution des valeurs algébriques de a et surtout l'accroissement des valeurs de b par suite d'échauffements de plus en plus intenses semblent logiques, puisque ces derniers sont connus pour provoquer un brunissement(jaunissement) s'accentuant avec la température et la durée du traitement thermique (5—8, 12). Ces tendances sont d'ailleurs confirmées par les valeurs de a et de b obtenues avec des laits fortement surchauffés, tels les laits concentrés et les laits séchés sur rouleau, après redispersion dans l'eau (cf. partie II).

On s'attendrait en revanche à une diminution des valeurs de L par suite précisément de ces réactions de brunissement sous l'effet de la chaleur. Les valeurs de L obtenues avec les laits concentrés et en poudre indiquent en effet une forte décroissance de L. Il faut donc chercher une autre explication à l'accroissement initial indubitable des valeurs de L en fonction du traitement thermique appliqué (cf. tableau 2). Il s'agit selon toute vraisemblance d'une augmentation de la diffusion lumineuse, due cette fois-ci à la formation d'agglomérats micellaires de caséines ou/et de protéines lactosériques dénaturées, peut-être même à celle de complexes protéines + globules gras au niveau de la membrane de ces derniers (7). Cette interprétation est confirmée notamment par les accroissements de viscosité (7) et de teneur en substances protéiniques réductrices (PRS) (17) d'une part, par les diminutions des teneurs en «azote albuminique total» (TAN) et en «azote non caséinique» (NCN) (18) d'autre part, observés lors d'analyses parallèles de ces mêmes laits (19). Il existe donc un maximum pour L en fonction des traitements thermiques appliqués (6, 8—12): en-dessous de ce maximum, l'accroissement des valeurs de L serait dû principalement à l'augmentation de la diffusion lumineuse; au-dessus de ce maximum, la décroissance des valeurs de L serait due surtout au brunissement du produit (décroissance algébrique de a, croissance de b). Les taux de réflexion à 475 nm, publiés par *Vujičić* (5) pour différents traitements thermiques — à savoir 73% pour le lait cru, 74% pour le lait pasteurisé, 80% pour le lait UHT, mais 71% pour le lait cuit et 53% pour le lait stérilisé dans un autoclave — confirment les résultats obtenus (100% = taux de réflexion du standard blanc utilisé par cet auteur).

La comparaison des valeurs de L, de a et surtout de b obtenues pour les différentes variantes (I à VI) testées sans homogénéisation additionnelle met en outre clairement en évidence l'existence d'une certaine homogénéisation du lait UHT-direct inhérente à ce procédé d'échauffement, consécutive à l'écoulement turbulent du lait dans l'installation d'UHT. Ce phénomène a déjà été observé par *Zadow* (6) qui signale également une certaine homogénéisation due au procédé UHT-indirect, mais beaucoup plus faible que celle produite par le procédé UHT-direct.

Conclusion

Les résultats de ces essais sont concluants. La méthode est suffisamment sensible, précise et exacte pour permettre une mesure objective des modifications de la couleur du lait dues aux traitements technologiques usuels. L'étude des influences

de l'homogénéisation et du traitement thermique — séparément, puis conjointement — indique:

— une augmentation importante de la luminance L du lait entier dans les deux cas (12);
— l'existence d'un maximum pour L en fonction de l'importance et de la durée du traitement thermique appliqué (12);
— des diminutions faible de la composante verte et très marquée de la composante jaune du lait entier après homogénéisation;
— une augmentation très sensible des composantes verte et jaune du lait entier après traitement thermique (12);
— un comportement semblable pour le lait écrémé, mais moins marqué en ce qui concerne l'homogénéisation. *Zadow* (6) signale aussi un brunissement plus faible en ce qui concerne le traitement thermique;
— une certaine homogénéisation du lait entier par UHT-direct, inhérente à ce procédé.

Bien que les résultats obtenus concordent avec ceux déjà publiés (5—16), ils s'en différencient fondamentalement par le genre de mesure utilisé. La méthode de détermination adoptée dans le présent travail caractérise de manière bijective* la couleur de l'échantillon par 3 paramètres (L, a, b) — d'où le nom de méthode tristimulus — ce que ne permet pas la simple mesure du taux de réflexion à une longueur d'onde donnée (5—11, 14—15). Le système L, a, b selon *Hunter* permet en outre d'interpréter les valeurs mesurées avec le vocabulaire communément utilisé pour caractériser les impressions visuelles, telles que «plus clair», «plus jaune», «plus vert».

Du point de vue pratique, la rapidité et la simplicité des mesures devraient répondre pleinement aux exigences d'un contrôle en série. La cellule de mesure proposée (3) donne entière satisfaction, comme le montre encore l'application de cette méthode au contrôle de qualité d'autres produits laitiers (cf. partie II).

Partie II:

Comparaison de différents produits laitiers industriels

Cette seconde partie est consacrée à la mesure par photométrie de réflexion (méthode tristimulus selon *Hunter*) de la couleur de différents produits laitiers du commerce. Vu leur nombre, cette étude préliminaire a été limitée aux plus importants d'entre eux, tels que laits de consommation conditionnés, laits et produits laitiers en poudre (tels quels et reconstitués), laits concentrés (tels quels et reconstitués), crèmes à café (sans et avec café soluble), crèmes entières, beurres, yogourts et desserts à base de lait. Le présent travail a deux objectifs principaux:

* Ce qui signifie qu'à tout triplet donné de L, a, b correspond une couleur et une seule, et réciproquement

— étudier et évaluer, d'un point de vue purement analytique, les possibilités d'application de cette nouvelle méthode à des échantillons de natures très différentes (structure, composition, couleur, consistance, etc.);
— comparer entre eux quelques produits de nature identique, mais différents de par leur provenance et/ou de par les procédés mis en œuvre pour leur fabrication (technologie).

L'équipement et la méthode d'analyse des couleurs utilisés sont mentionnés dans la partie I.

Provenance des échantillons

Tous les échantillons de laits et de produits laitiers mesurés ont été prélevés au hasard dans des stocks destinés à la vente. Les laits concentrés et les laits en poudre ont été reconstitués au moyen d'eau courante à 60 °C — pour faciliter la redispersion de la matière grasse — en se conformant aux indications données par chacun des fabricants.

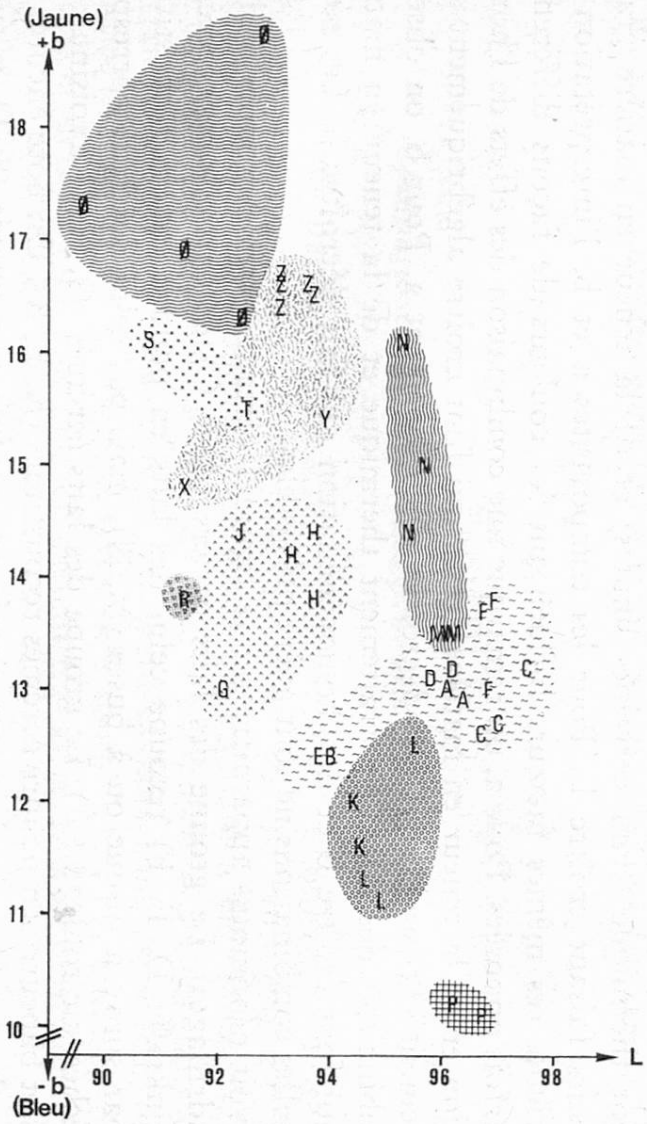
Résultats expérimentaux et discussion

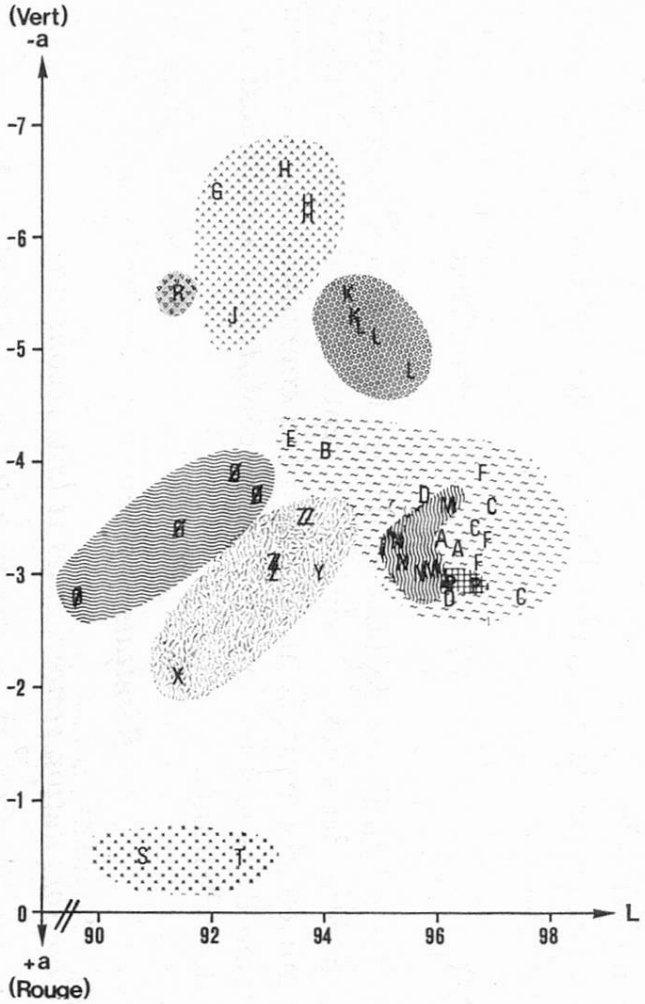
Laits de consommation conditionnés et laits reconstitués

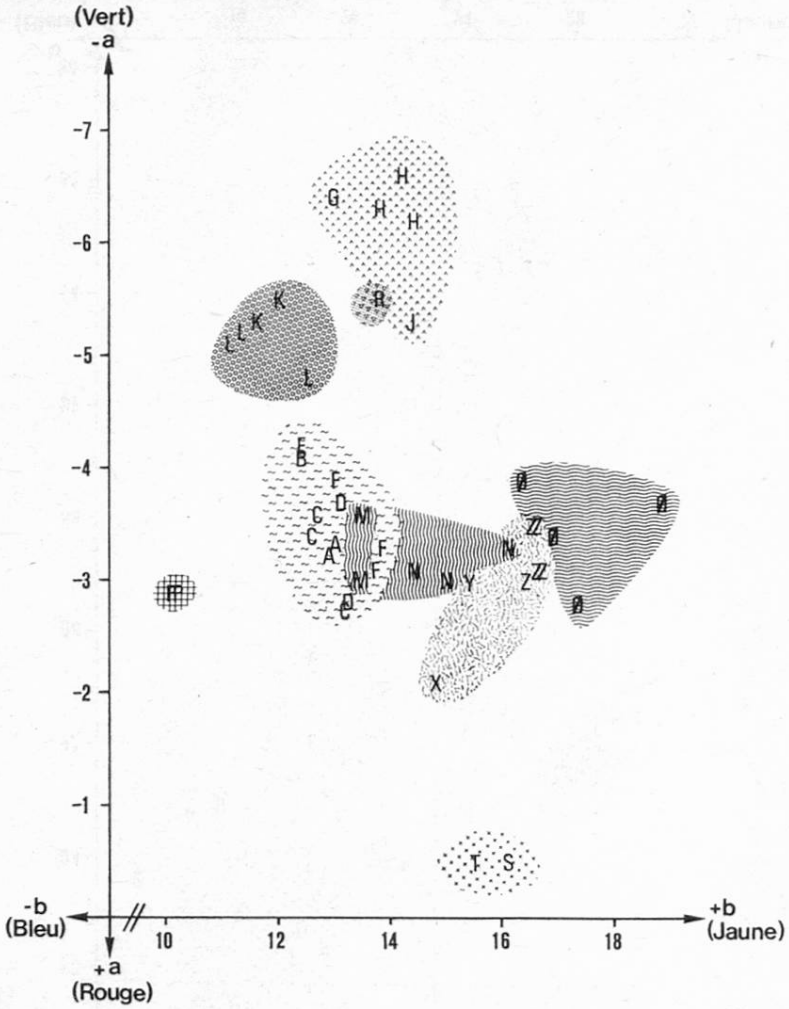
Connaissant schématiquement les influences respectives des trois principaux facteurs étudiés dans la partie I — à savoir l'homogénéisation, le traitement thermique et la teneur en matière grasse MG — sur les composantes L, a et b de la couleur du lait, on peut essayer de comparer les couleurs de divers laits de consommation conditionnés et reconstitués du commerce pour lesquels ces trois facteurs se combinent différemment selon les traitements technologiques appliqués (12) (cf. figure 1).

Pour la composante L, on assiste au cumul des effets de l'homogénéisation, du traitement thermique (dans certaines limites) et de la teneur en matière grasse, ces facteurs faisant croître L. Pour les composantes a et b, l'interprétation est très difficile, ces mêmes facteurs influençant les couleurs de façons différentes, voire parfois opposées. Pour a, on remarque une combinaison des effets de l'homogénéisation et de la teneur en matière grasse qui font croître algébriquement a et du traitement thermique qui fait décroître algébriquement a. Pour b, on observe une combinaison des effets du traitement thermique et de la teneur en matière grasse qui font croître b et de l'homogénéisation qui fait décroître b. Les résultats de telles combinaisons ne sont guère prévisibles.

On voit néanmoins apparaître sur la figure 1 certains grands groupes de laits (cf. quadrillages). Le groupe des laits entiers (A, B, C) et partiellement écrémés (les «drinks»®: D, E, F) recoupe celui des laits en poudre entiers reconstitués, séchés par spray à disque ou à buses (M, N), mais pas celui des laits correspondants séchés sur rouleau (Φ). Le groupe des laits écrémés (G, H, J) avoisine celui des laits et babeurre en poudre écrémés reconstitués (K, L, R). On note encore, très à l'écart, les groupes des laits concentrés reconstitués non sucrés (S, T) et sucrés (X, Y, Z), ainsi que celui formé par les laits en poudre réengraissés reconstitués (P).

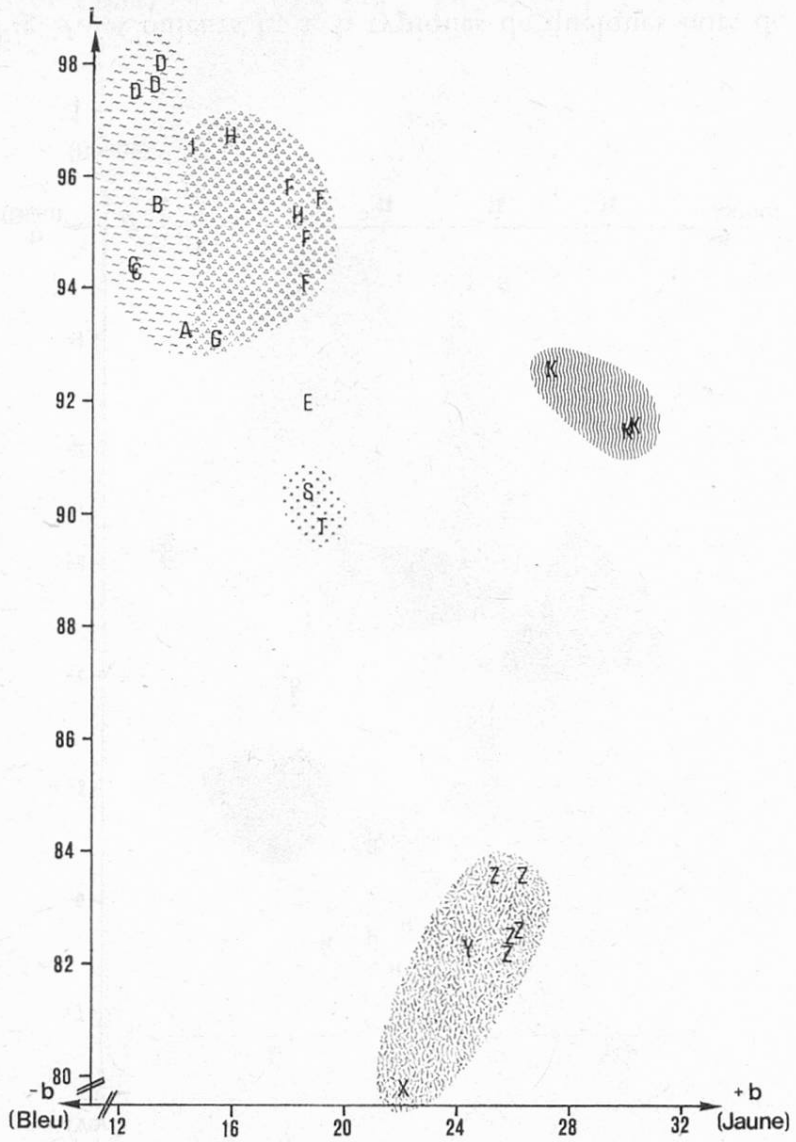

(Jaune)
+b
18
17
16
15
14
13
12
11
10
90
92
94
96
98
L
-b
(Bleu)

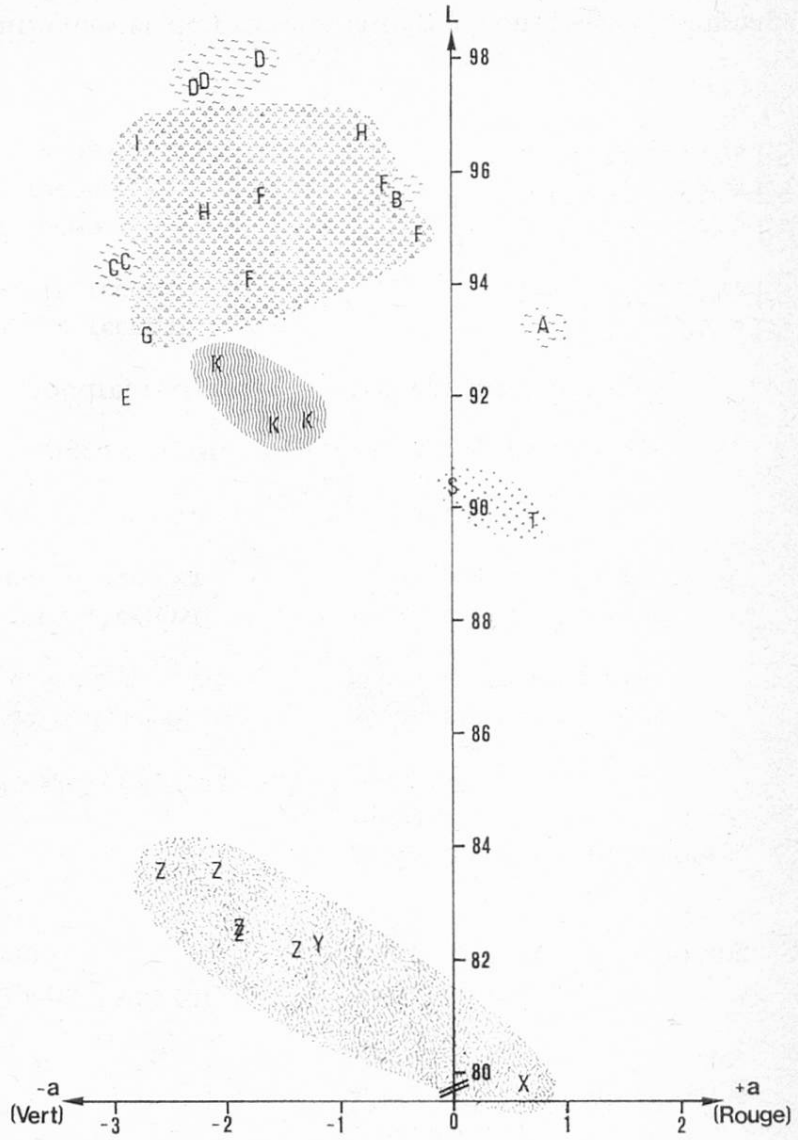

(Vert)
-a
-7
-6
-5
-4
-3
-2
-1
0
90
92
94
96
98
L
+a
(Rouge)

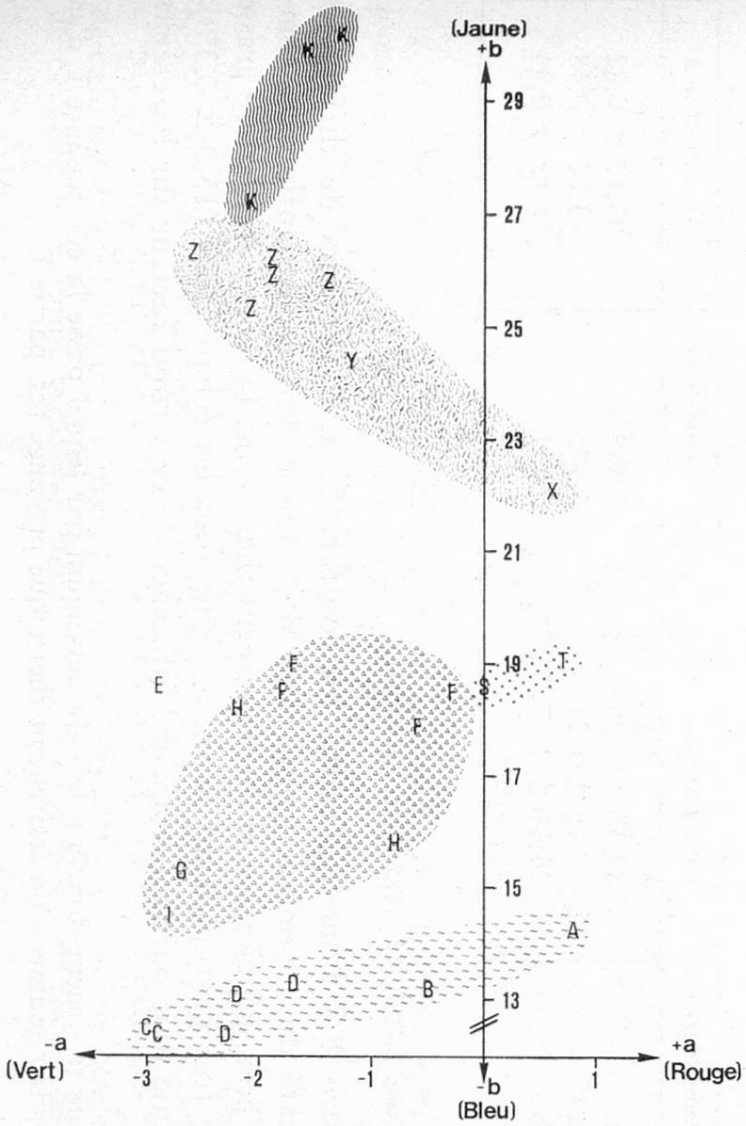


A	=	entier	past. et homog.
B	=	entier	UHT-direct et faible homog.
C	=	entier	upéris.®
D	=	drink® (à 2,8 ou 2,9% MG)	past. et homog.
E	=	drink® (idem)	UHT-direct et faible homog.
F	=	drink® (idem)	upéris.®
G	=	écrémé	UHT-direct et faible homog.
H	=	écrémé	upéris.®
J	=	jet® (à 0,5% MG et 4,5% prot.)	upéris.®
K	=	en poudre, écrémé, reconst.	séchage spray à disque
L	=	en poudre, écrémé, reconst.	séchage spray à buses
M	=	en poudre, entier, reconst.	séchage spray à disque
N	=	en poudre, entier, reconst.	séchage spray à buses
Ø	=	en poudre, entier, reconst.	séchage rouleau
P	=	en poudre, réengr., reconst.	séchage spray à disque
R	=	babeurre en poudre, reconst.	séchage spray à disque
S	=	Conc. non sucré, reconst.	évaporat. sous vide à chaud: 8 % MG; 26% ES
T	=	Conc. non sucré, reconst.	10,5% MG; 31% ES
X	=	Conc. sucré, reconst.	9 % MG; 75% ES
Y	=	Conc. sucré, reconst.	9,5% MG; 75% ES
Z	=	Conc. sucré, reconst.	8 % MG; 74% ES

Fig. 1. Couleurs L, a, b typiques de quelques laits de consommation conditionnés et de produits laitiers reconstitués (étalonnage avec le standard blanc)


L
98
96
94
92
90
88
86
84
82
80
-b
(Bleu)
12
16
20
24
28
32
+b
(Jaune)


L
98
96
94
92
90
88
86
84
82
80
-a
(Vert)
-3
-2
-1
0
1
2
+a
(Rouge)



A	=	crème à café	(15% MG)	past. + homog. + stéril.
B	=	crème à café	(15% MG)	stéril. + homog. + stéril.
C	=	crème à café	(15% MG)	homog. faible + UHT-direct
D	=	crème à café	(15% MG)	Upéris.®
E	=	«double crème»	(45% MG)	past. + homog.
F	=	crème entière	(35% MG)	past. (sans homog.)
G	=	crème entière	(35% MG)	UHT-direct + légère homog.
H	=	crème entière	(35% MG)	upéris.®
I	=	crème en poudre, entière, reconst.		séchage spray à disque
K	=	beurre (de table, de cuisine)		
S	=	lait conc. non sucré	(8 % MG; 26% ES)	évaporat. sous vide à chaud
T	=	lait conc. non sucré	(10,5% MG; 31% ES)	
X	=	lait conc. sucré	(9 % MG; 75% ES)	
Y	=	lait conc. sucré	(9,5% MG; 75% ES)	
Z	=	lait conc. sucré	(8 % MG; 74% ES)	

Fig. 2. Couleurs L, a, b typiques de quelques produits laitiers à teneur en matière grasse élevée (étalonnage avec le standard blanc sauf pour les beurres, étalonnés avec le standard jaune)

Laits concentrés

La figure 2 indique les couleurs L, a, b typiques de divers produits laitiers liquides (ou facilement liquéfiables, tels les beurres) à teneur en matière grasse plus élevée, au nombre desquels ont compte notamment les mêmes laits concentrés que précédemment (cf. S, T, X, Y, Z de la figure 1), mais mesurés avant leur reconstitution (ou dilution).

En comparant les valeurs de L, a, b de ces laits (S, T, X, Y, Z) avant et après reconstitution, on constate en outre que:

— la couleur, avant reconstitution, des laits concentrés sucrés est très différente de celle des laits concentrés non sucrés;
— les différences de couleur existant entre laits concentrés de même nature (sucrés, respectivement non sucrés) sont plus marquées avant qu'après leur reconstitution;
— une bonne corrélation existe entre les couleurs mesurées avant et après reconstitution;
— les laits concentrés non sucrés reconstitués se différencient optiquement des laits conditionnés mesurés précédemment (cf. A, B, C de la figure 1) par leur luminance L plus faible*, par leur composante a plus rouge et par leur composante b plus jaune, composantes qui donnent au café une teinte «gold» très appréciée en Allemagne (le lait concentré y étant utilisé en lieu et place de crème à café).

Les principaux paramètres statistiques que l'on peut calculer pour les quelques laits concentrés sucrés (N = 7) mesurés sont indiqués dans le tableau 3.

Tableau 3. Valeurs moyennes, écarts-types et coefficients de corrélation (avant/après dilution) obtenus avec les quelques laits concentrés mesurés (N = 7)

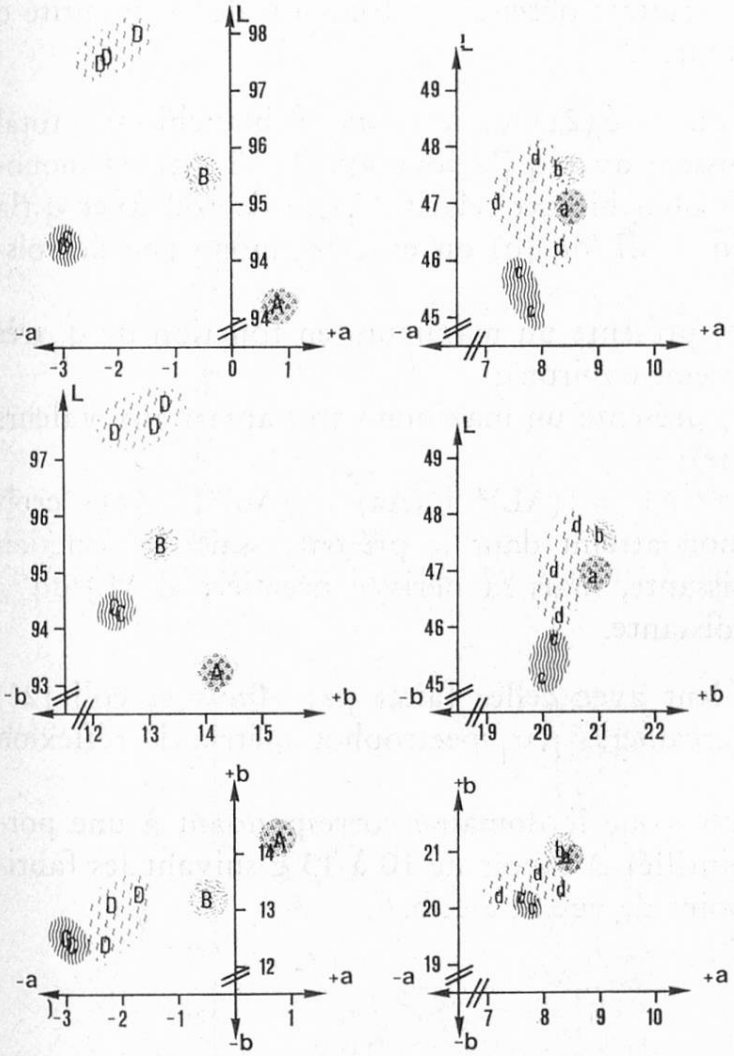
Grandeur considérée	Avant dilution	Coeff. corrélation	Après dilution
L	82,33 ± 1,28	0,888	93,12 ± 0,82
a	—1,48 ± 1,01	0,973	—3,02 ± 0,48
b	25,11 ± 1,47	0,931	16,12 ± 0,73

Crèmes à café (avec et sans café soluble)

La figure 2 indique également les couleurs L, a, b typiques de différentes crèmes à café du commerce (min. 15% MG). On y retrouve les influences combinées de l'homogénéisation et du traitement thermique, la teneur en matière grasse étant cette fois pratiquement la même pour tous les échantillons (15,0 ± 0,3%). On remarque tout particulièrement l'influence de ce second facteur sur les crèmes

* Ces valeurs se situent donc au delà du maximum par lequel passe la composante L d'un produit laitier soumis à un traitement thermique prolongé (cf. partie I).

à café qui ont subi une stérilisation (A et B). En l'absence de café (cf. figure 2 et figure 3, colonne de gauche), on remarque leurs composantes b et surtout a algébriquement très élevées. Ces crèmes «tirent» nettement sur un jaune-rouge; leur luminance est faible (ces valeurs se situent vraisemblablement au delà du maximum de L mentionné dans la partie I (12). Il en va de même en présence de café (cf. figure 3, colonne de droite), mais l'effet de la stérilisation sur la couleur de la crème est moins sensible, étant partiellement masqué par la couleur de fond également jaune-rouge du café soluble.



La composition du mélange est la suivante (colonne de droite):
1,5 g de café soluble (Nescafé® spécialement filtré, art. no 2785) additionné de 100 g d'eau à 60 °C et de 10 g de la crème à café considérée (A, B, C, D). Pour le décodage, se rapporter à la légende de la figure 2

Fig. 3. Couleurs L, a, b typiques de quelques crèmes à café mesurées telles quelles (colonne de gauche: A, B, C, D; étalonnage avec le standard blanc) et mélangées à un café soluble (colonne de droite: a, b, c, d; étalonnage avec le standard jaune)

Les crèmes uperisées® (D) se distinguent des crèmes UHT faiblement homogénéisées (C) par une luminance L nettement plus élevée et par des composantes a et b algébriquement plus élevées. On retrouve les mêmes tendances en présence de café soluble (cf. figure 3), mais à nouveau très atténuées par la couleur de fond de ce dernier. Comme précédemment, la discussion des variations de a et b est

rendue difficile par le fait que l'homogénéisation et le traitement thermique appliqués agissent de manière opposée sur a et sur b.

Pour compléter ces quelques mesures, on a encore déterminé comment varient L, a et b lors de l'adjonction de diverses quantités (de 0 à 25 g) de crème à café (à 15% MG) à un café de volume total donné, constant. La composition adoptée est la suivante: 1,5 g du même café soluble est dissous dans un minimum d'eau à 60 °C, additionné de la quantité désirée q (variable) de crème à café et amené finalement à 100 ml (dans un jaugé) au moyen d'eau. Le tout est thermostatisé à 60 °C.

Les figures 4 et 5 montrent les résultats obtenus en fonction de la quantité q de crème à café engagée. On constate que:

— la luminance L («whiteness») du café (21) et le pouvoir blanchissant total ΔL^* (21) de la crème à café croissent avec q (la fonction $L = L(q)$ est monotone croissante), mais le pouvoir blanchissant relatif $\Delta L/\Delta q$ décroît avec q (la fonction dérivée première $dL/dq = dL/dq(q)$ est en effet monotone décroissante);
— la composante rouge a (positive) présente un maximum en fonction de q, très rapidement atteint ($\leqslant$ 2,5 g de crème environ);
— la composante jaune b (positive) présente un maximum très aplati aux valeurs de q très élevées ($\cong$ 20 g de crème);
— la différence de couleur totale* $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$ (21) croît avec q (jusqu'à un maximum non atteint dans le présent essai); la fonction $\Delta E = \Delta E(q)$ est monotone croissante, mais sa dérivée première $d(\Delta E)/dq = d(\Delta E)/dq(q)$ est monotone décroissante.

Toutes ces observations concordent avec celles faites par *Aneja* et coll. (21) lors d'une étude de divers «coffee creamers» par spectrophotométrie de réflexion à diverses longueurs d'onde.

Les figures 4 et 5 montrent encore que le domaine correspondant à une portion de crème à café (indiqué en pointillé), à savoir de 10 à 13 g suivant les fabricants, est judicieusement choisi du point de vue L, a et b.

Crèmes entières et beurres

Passant à des produits laitiers à teneur en matière grasse toujours plus élevée, la figure 2 indique ensuite les couleurs L, a, b typiques de diverses crèmes entières du commerce standardisées à 35% MG (F, G, H), d'une crème en poudre entière reconstituée (I), d'une «double» crème à 45% MG (E) ainsi que de quelques beurres à 84% MG (K). Abstraction faite des laits concentrés qui ont subi un fort

* Le pouvoir blanchissant total ΔL de la crème à café est défini par la différence existant entre la luminance L des mélanges «café avec crème à café» et celle du mélange «café sans crème à café», à dilution identique (21). Cette définition peut être transposée aux composantes a et b, soit aux grandeurs Δa et Δb, puis par extension à ΔE.

échauffement (S, T; X, Y, Z), on constate que la composante b croît de façon très marquée vers le jaune avec la teneur en matière grasse de ces différents produits, ce qui s'explique selon toute vraisemblance par leur teneur également croissante en vitamine A et en β-carotène liposolubles.

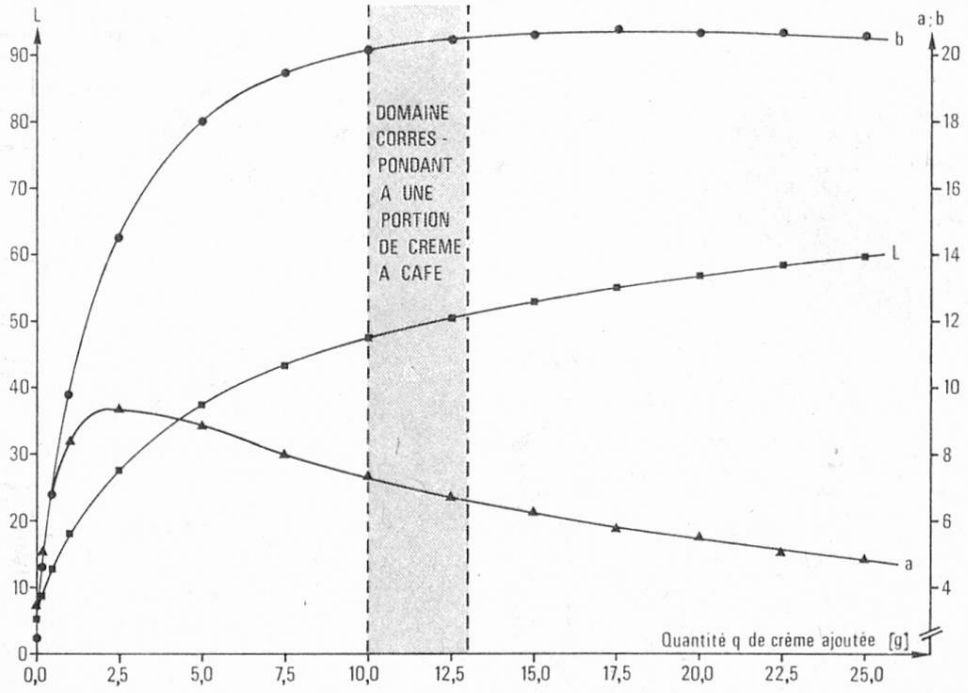


Fig. 4. Variation des couleurs L, a, b d'un café soluble donné, de volume total constant, en fonction de la quantité q de crème à café ajoutée (étalonnage avec le standard jaune)

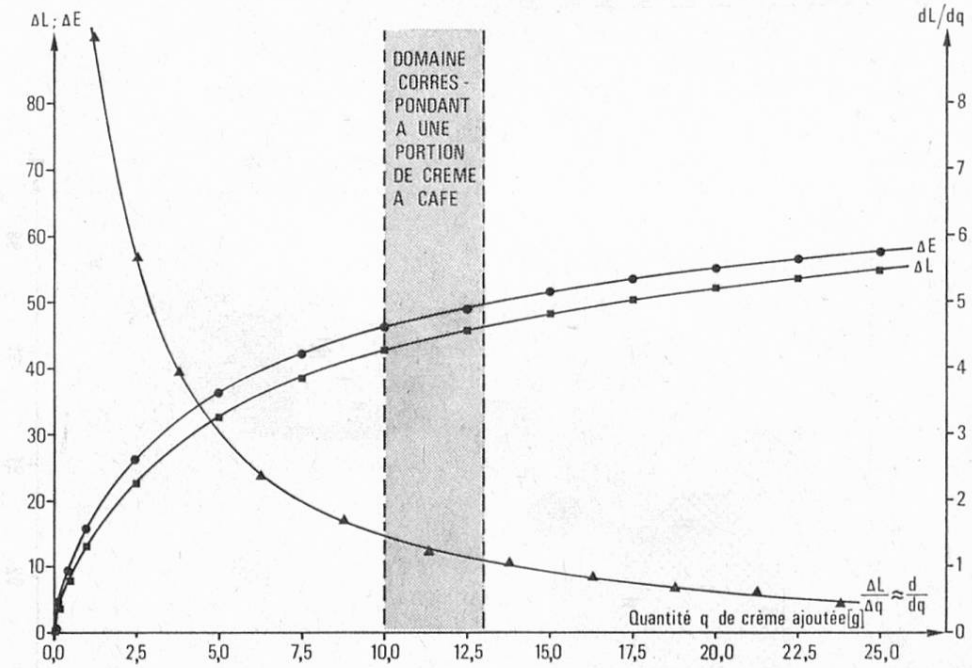
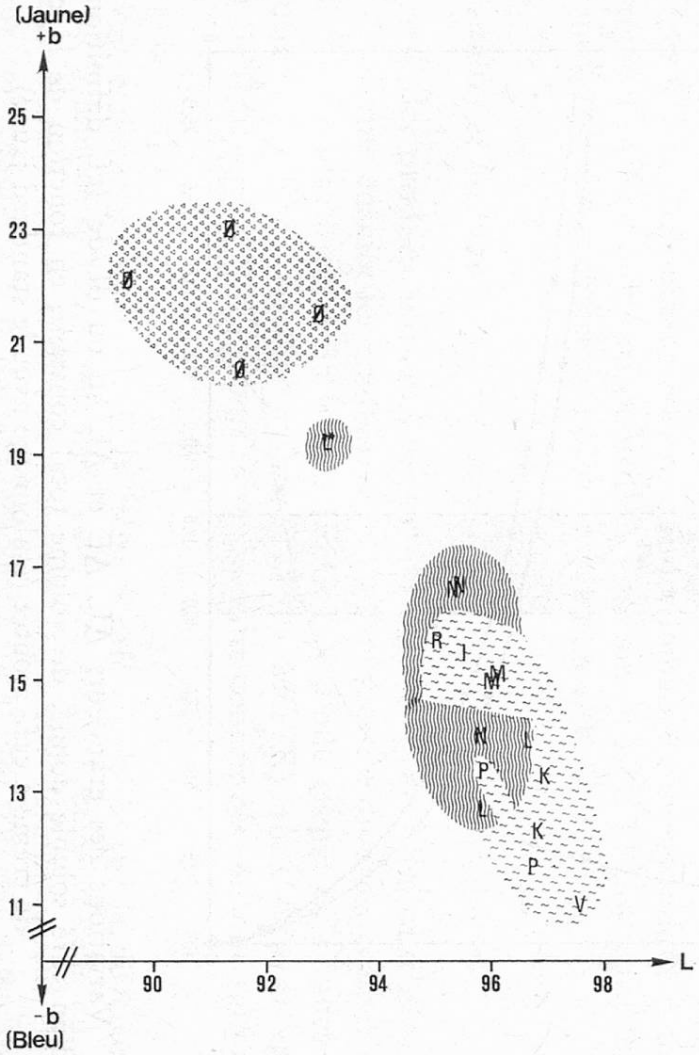
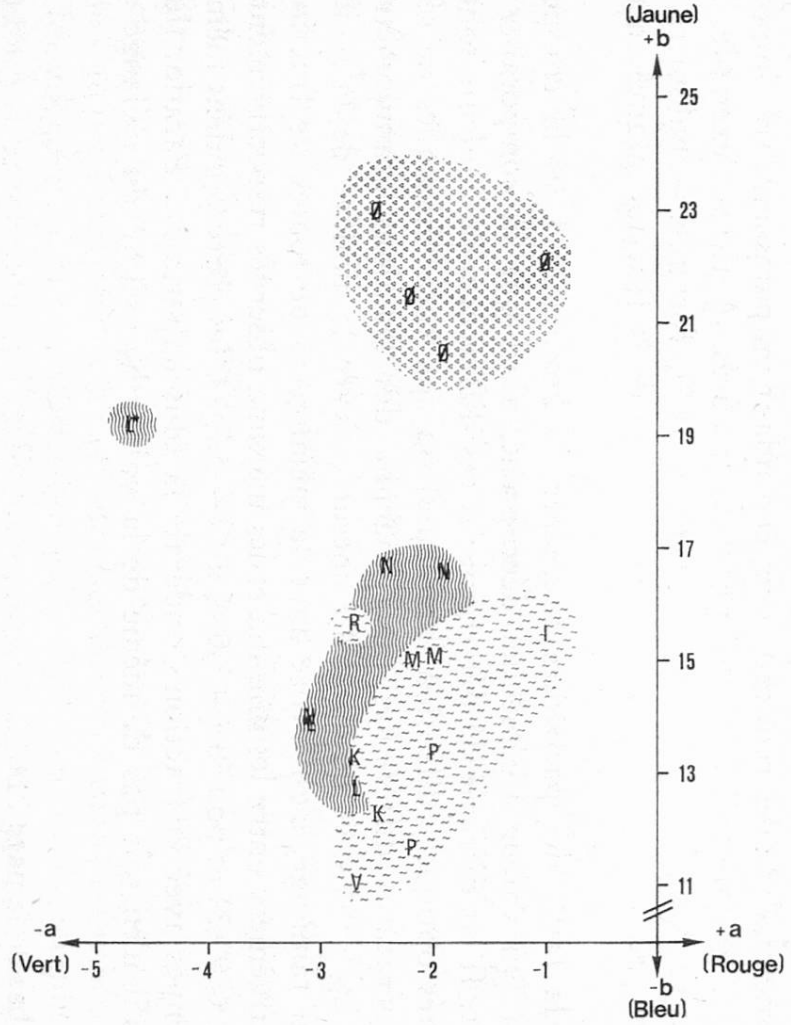


Fig. 5. Variations des grandeurs ΔL, ΔE et ΔL/Δq ou dL/dq (cf. définitions dans le texte) d'un café soluble donné, de volume total constant, en fonction de la quantité q de crème à café ajoutée (étalonnage avec le standard jaune)


(Jaune)
+b
25
23
21
19
17
15
13
11
90
92
94
96
98
L
-b
(Bleu)

L
97
96
95
94
93
92
91
90
89
-a
(Vert)
-5
-4
-3
-2
-1
0
+a
(Rouge)



K	= lait écrémé	(< 0,1% MG)	
V	= lactosérum	(< 0,1% MG)	
R	= babeurre	(~ 5 % MG)	
M	= lait entier	(25 % MG)	séchage par spray à disque
P	= lait réengraissé	(30 % MG)	
I	= crème	(53 % MG)	
L	= lait écrémé	(< 0,1% MG)	
L*	= lait écrémé «instantané» (aggloméré)		séchage par spray à buses
N	= lait entier	(26 % MG)	
Ø	= lait entier	(25 % MG)	séchage sur rouleau

Fig. 6. Couleurs L, a, b typiques de quelques produits laitiers en poudre, regroupés selon le procédé de séchage utilisé (étalonnage avec le standard blanc)

Remarque: Afin de pouvoir remplir la cuvette de mesure sans bulle d'air et sans trop dénaturer les beurres — tout échauffement devant être évité —, les échantillons ont été préalablement malaxés, à 25 °C environ, jusqu'à liquéfaction.

Produits laitiers en poudre

La figure 6 indique les couleurs L, a, b typiques de divers produits laitiers en poudre du commerce, notamment d'une crème entière (I), de laits écrémés (K, L, L*), entiers (M, N, ϕ), réengraissés (P), d'un babeurre (R) et d'un lactosérum (V).

Le regroupement de ces produits selon le système de séchage utilisé fait apparaître une grande analogie entre les procédés dits «à disque» (K, V, R, M, P, I) et « à buses» (L, L*, N), le premier paraissant néanmoins légèrement plus ménageant que le second. Les résultats de ces mesures et leur interprétation concordent avec ce qui précède (cf. figure 1). On constate à nouveau un jaunissement (augmentation de b) des laits, tant écrémés qu'entiers, sous l'effet des divers traitements thermiques appliqués, tout particulièrement des laits entiers séchés sur rouleau (ϕ). Une corrélation assez étroite ($r = 0{,}901$) existe entre les valeurs de b mesurées avec les diverses poudres de lait et celles mesurées avec leurs laits reconstitués. Cet effet des traitements thermiques apparaît également dans la décroissance de la luminance L des laits[1]. On peut même noter une étroite corrélation ($r = 0{,}933$) entre la décroissance de L et la croissance de b des laits en poudre. Un regroupement de ces mêmes produits pulvérulents selon leur nature indique à nouveau que ceux à faible teneur en matière grasse (K, L, V) présentent en moyenne des composantes algébriques a et b légèrement inférieures (teinte bleu-vert) aux produits à teneur en matière grasse plus élevée (P, R, M, N, ϕ, I, à teinte jaune-rouge).

La présente analyse des résultats omet cependant un paramètre très important: la distribution granulométrique des produits mesurés. A titre d'exemple, le tableau 4 montre pour le lait écrémé instantané (L*), fortement aggloméré, dans quelle mesure peuvent varier L, a et b en fonction de la fraction granulométrique considérée.

Lorsque la taille des particules augmente, la luminance L et la composante vert-rouge a (en valeur algébrique) décroissent, alors que la composante bleu-jaune b croît. Il est difficile de déterminer si ces différences de couleurs sont dues aux propriétés optiques (diffusion lumineuse) ou aux caractéristiques de séchage (durée, température) différentes pour chacune des fractions granulométriques. Les valeurs $L_m = 93{,}0$ et de $a_m = 4{,}7$ mesurées avec la poudre de lait «instantanée» avant tamisage, c'est-à-dire avec le mélange m de toutes les fractions, se situent effectivement entre les minima et les maxima observés respectivement pour L ($89{,}7 \leqslant L \leqslant 95{,}3$) et pour a ($-5{,}0 \leqslant a \leqslant -3{,}7$). Elles correspondent même aux valeurs obtenues avec la fraction pondérale la plus importante. Paradoxalement, il semble qu'il n'en soit pas de même de la valeur $b_m = 19{,}2$ du mélange qui se

[1] cf. note au bas de la page 214

Tableau 4. Valeurs de L, a et b mesurées[1] avec différentes fractions d'une même poudre de lait (tamisée)[2]

Diamètre des particules : ϕ (granulométrie)	Fraction pondérale du mélange complet (en %)	L	a	b
$\phi < 36$ µm	0,53	—	—	—
36 µm $< \phi < 63$ µm	3,57	95,3	—3,7	+13,2
63 µm $< \phi < 149$ µm	20,23	94,1	—4,3	+15,3
149 µm $< \phi < 200$ µm	13,79	93,6	—4,5	+17,1
200 µm $< \phi < 250$ µm	6,05	93,2	—4,5	+17,1
250 µm $< \phi$[3] < 630 µm	46,66[3]	92,7	—4,7	+18,0
630 µm $< \phi$	9,17	89,8	—5,0	+18,8
Mélange complet (L_m; a_m; b_m)	100	93,0	—4,7	+19,2(?)

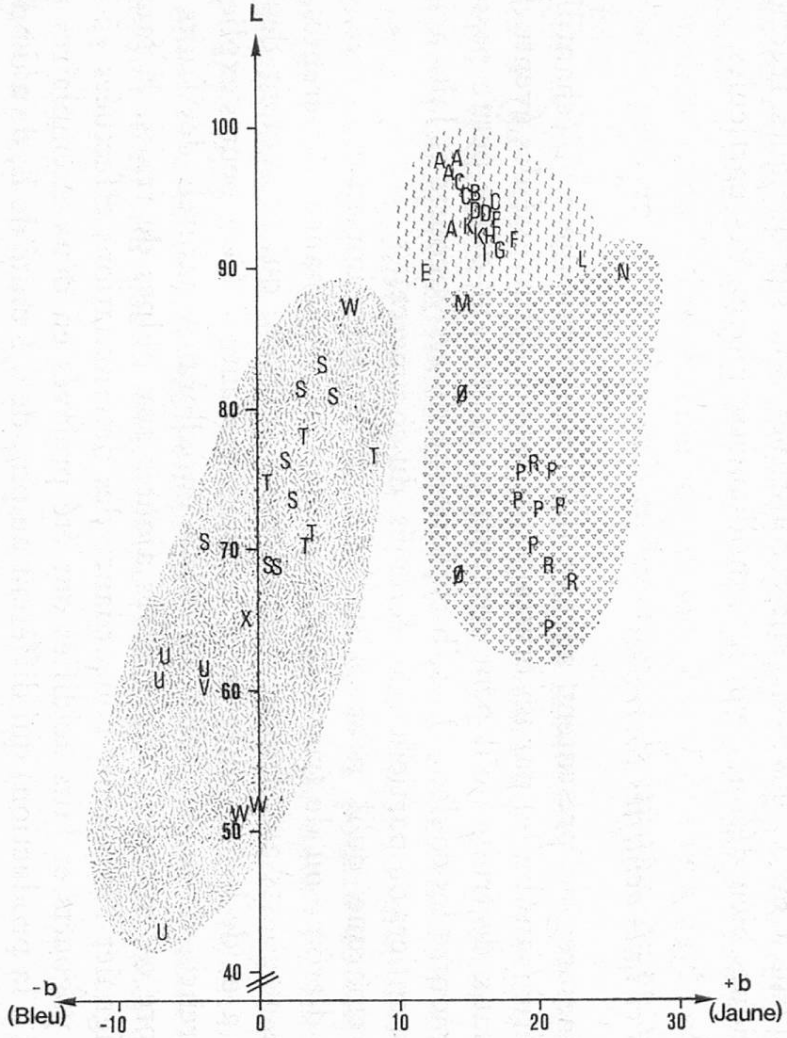
[1] Le photomètre est étalonné avec le standard blanc
[2] Poudre de lait écrémé, instantané
[3] Fraction trop riche pour être caractéristique

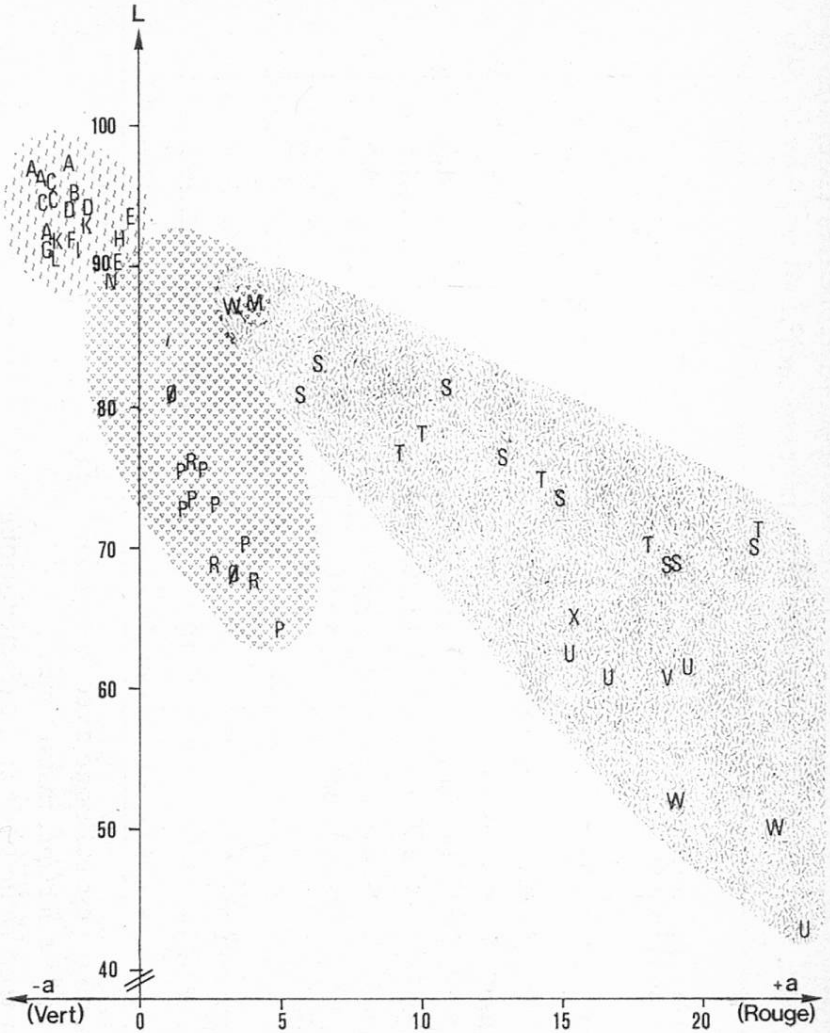
démarque indubitablement du domaine délimité par les extrema de cette composante ($13,2 \leqslant b \leqslant 18,8$). Pour comparer des poudres de lait de «granulosités» différentes, il est donc recommandé d'effectuer les mesures soit après redispersion dans de l'eau à 60 °C environ (lait reconstitué), soit sur quelques fractions granulométriques bien définies, voisines du diamètre moyen des particules.

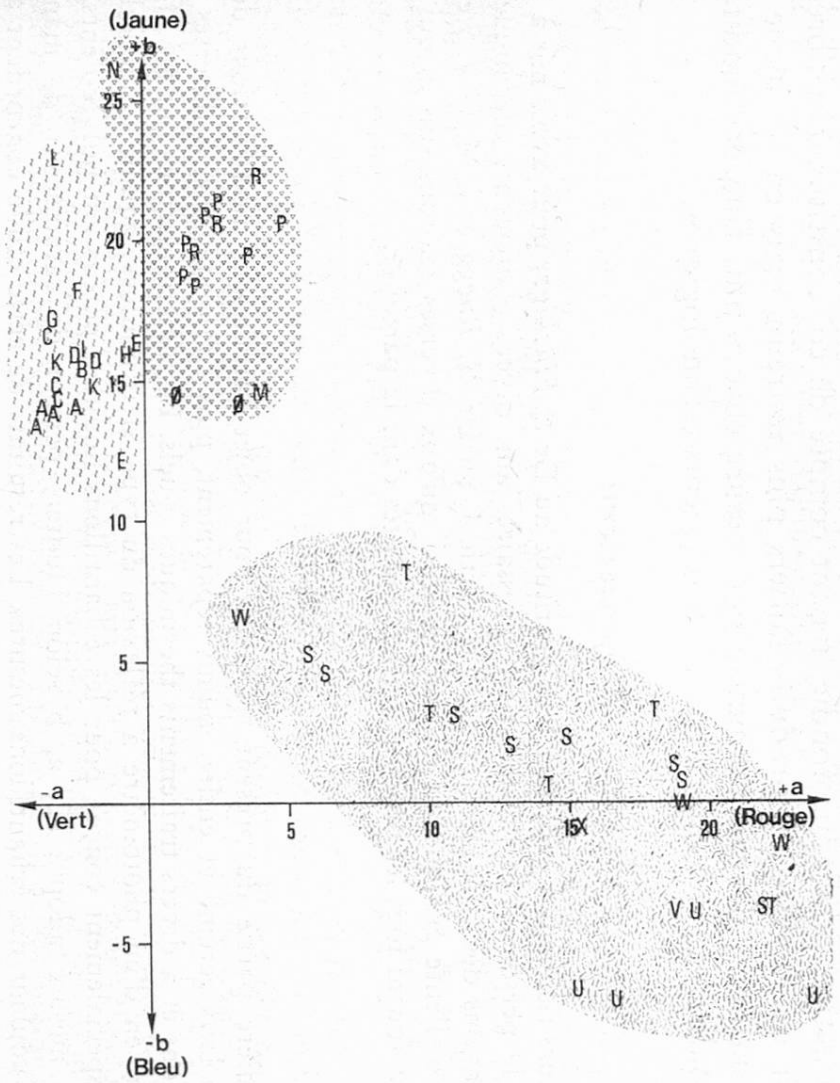
Yogourts et laits acidifiés thermisés

Ces mesures ne présentent aucune difficulté particulière. L'échantillon doit être liquéfié (sans bulle) par un brassage adéquat et débarrassé des éventuels grains ou morceaux de fruits qu'il peut contenir en se servant d'une petite passoire. La figure 7 montre les couleurs L, a, b typiques de divers yogourts et laits acidifiés et thermisés, entiers ou partiellement écrémés, du commerce.

On remarque qu'il peut exister des différences importantes même entre yogourts d'arôme ou de fruits identiques mais de provenances différentes. Tel est le cas des yogourts aux fraises, partiellement écrémés, qui présentent des valeurs de L, de a et de b fort différentes les unes des autres. Ceci peut s'expliquer par des différences de teneurs non seulement en colorants naturels des fruits utilisés, mais encore en colorants alimentaires ajoutés aux pulpes de fruits. Il faut en revanche signaler l'excellente concordance des déterminations effectuées «à double» (tous les yogourts et laits acidifiés ont été prélevés en deux exemplaires dans un même lot à la production) qui diffèrent au plus de 0,1 unité de L, de a ou de b.


L
100
90
80
70
60
50
40
-b
(Bleu)
-10
0
10
20
30
+b
(Jaune)


L
100
90
80
70
60
50
40
-a
(Vert)
0
5
10
15
20
+a
(Rouge)



A = nature
B = miel de Hongrie
C = citron
D = ananas
E = pêches
F = fruits passion/melons
G = carottes
H = oranges/bananes
I = vanille
K = pommes
L = oranges/grapefruits
M = oranges sanguines
N = mangues
Ø = noisettes
P = mocca
R = caramel
S = fraises
T = framboises
U = myrtilles
V = baies des bois
W = cerises
X = cocktail

Fig. 7. Couleurs L, a, b typiques de quelques yogourts et laits acidifiés et thermisés, entiers ou partiellement écrémés (de A à L: étalonnage avec le standard blanc; de M à R: étalonnage avec le standard jaune; de S à X: étalonnage avec le standard rose)

Conclusion

Loin d'être exhaustifs, ces quelques essais préliminaires montrent néanmoins la polyvalence de la méthode utilisée. La cellule développée antérieurement pour les échantillons liquides, pâteux ou pulvérulents (3) assure une mesure exacte et reproductible de la couleur de tous les produits laitiers commerciaux considérés dans ce travail. Quelques-uns d'entre eux requièrent une courte préparation des échantillons, à savoir: une liquéfaction (non dénaturante) pour les beurres, un tamisage sur passoire pour les yogourts aux fruits et un tamisage fin (pour isoler quelques fractions granulométriques données) ou une resuspension dans de l'eau à 60 °C environ pour les produits en poudre. Une telle méthode est d'exécution suffisamment simple et rapide pour satisfaire aux exigences d'un contrôle de routine de la qualité de ces produits (fabrication, stockage (6, 20) etc.). Elle est moins fastidieuse, moins subjective et plus sensible qu'un simple examen «de visu», purement comparatif, des échantillons (cf. par exemple les échelles proposées par la maison danoise *Chr. Hansen* à Copenhague pour l'estimation de la couleur des beurres et par la maison américaine Milprint Inc., Cheese and Dairy Division à Milwaukee, Wisconsin, pour celle des fromages). Elle devrait permettre une standardisation par exemple de la luminance («whiteness») de la crème à café (après traitement thermique et homogénéisation), de la couleur de yogourts, de la teinte «gold» du lait concentré, etc. Les résultats obtenus au cours de la présente étude et leur interprétation concordent en outre parfaitement avec ceux déjà publiés pour des mesures à une (des) longueur(s) d'onde donnée(s). Les teneurs en constituants colorés — tels que riboflavine, vitamine A et provitamine A — des divers produits mesurés n'ont pas été prises en considération dans ce travail préliminaire. Une investigation plus approfondie, tenant compte de ces constituants colorés et portant sur un nombre de produits laitiers plus restreint mais en revanche sur plus d'échantillons, devrait permettre une mesure encore plus fine des modifications des couleurs L, a, b dues aux seuls traitements technologiques.

Remerciements

Les auteurs tiennent à exprimer leur gratitude au Dr *E. Flückiger* pour avoir mis à leur disposition le personnel et l'installation nécessaires aux divers traitements thermiques et homogénéisations des laits mesurés dans la partie I, au Dr *M. Rüegg* et à M. *G. J. Steiger* pour leur excellente critique du manuscrit, ainsi qu'aux diverses maisons suisses qui ont aimablement fourni tous les produits laitiers mesurés dans la partie II.

Résumé

La première partie du présent travail a pour objet l'étude des modifications de la couleur des laits écrémé et entier soumis séparément, puis conjointement, à diverses homogénéisations et à divers traitements thermiques usuels. Les déterminations ont été effectuées au moyen d'un photomètre à réflexion du type «tristimulus», équipé d'une cellule de mesure spécialement conçue pour les échantillons liquides, pâteux ou pulvérulents. Le système de mesure adopté (L, a, b selon Hunter) permet de caractériser de manière bijective la couleur des échantillons mesurés. Les résultats de cette étude concordent avec

ceux déjà obtenus par mesure du taux de réflexion à une longueur d'onde donnée. La seconde partie de ce travail est consacrée à la mesure de la couleur de quelques produits laitiers industriels importants tels que laits de consommation conditionnés, laits et produits laitiers en poudre, laits concentrés, crèmes à café (sans et avec café soluble), crèmes entières, beurres et yogourts. La méthode proposée s'avère entièrement satisfaisante du point de vue analytique: elle donne des résultats objectifs et reproductibles, faciles à interpréter, et s'applique sans restriction à tous les types de produits laitiers testés à condition que les échantillons soient préparés de façon adéquate. D'exécution aisée et rapide, elle devrait satisfaire aux exigences d'un contrôle de routine de la qualité.

Zusammenfassung

Ziel des ersten Teils der vorliegenden Arbeit war es, die durch Homogenisierung und thermische Behandlung verursachten Farbveränderungen von Milch zu bestimmen. Es wurde Mager- und Vollmilch mit verschiedenen Drucken homogenisiert und/oder nach üblichen Verfahren erhitzt. Ausgeführt wurden die Farbmessungen mit einem Filterremissionsphotometer, das mit einer speziell für flüssige, pasten- und pulverförmige Meßgüter entwickelten Meßzelle ausgerüstet war. Es wurde im sogenannten Tristimulus-System nach Hunter (L, a, b-System) gemessen. Dieses Farbsystem ermöglicht eine eindeutige Angabe der Farbe eines Meßgutes und erlaubt zudem eine relativ anschauliche Interpretation der erhaltenen Zahlenwerte. Die erhaltenen Resultate sind vergleichbar mit solchen anderer Arbeiten, die auf monochromatischen Remissionsmessungen beruhen. Im zweiten Teil dieser Arbeit wurde die Farbe verschiedener im Handel erhältlicher Milchprodukte gemessen: Behandelte Konsummilchen, Milchpulver, Kondensmilch, Kaffeerahm (allein und mit Kaffee), Rahm, Butter und Joghurt. Es zeigte sich, daß die Methode reproduzierbare und in den meisten Fällen leicht interpretierbare Werte lieferte. Mit Ausnahme von Butter, heterogenen Fruchtjoghurts und Milchpulver können alle Produkte ohne besondere Probenvorbereitung gemessen werden. Die Methode scheint wegen ihrer Schnelligkeit und Einfachheit für routinemäßige Qualitätskontrollen gut geeignet.

Summary

In the first part of this study the changes in the colour of skim milk and whole milk are described after undergoing separately and together various homogenizations and different typical thermal treatments. The measurements were carried out using a reflectance photometer provided with a cell specially designed for liquid, pasty and pulverized samples. The so called «tristimulus» measuring system used (L, a, b after Hunter) characterizes in a bijective manner the colour of samples and allows one to interpret easily the values obtained. The results of this study are in agreement with those already obtained by measuring the amount of reflected light at a fixed wavelength. The second part of this work is concerned with the measurement of the colour of some important industrial dairy products such as packed milks, dairy products in powder form, evaporated milks, coffee creams (with and without instant coffee), whole creams, butters and yogurts. The proposed method was found to be entirely satisfactory from the analytical point of view: it gives objective and reproducible results, easy to interpret. It can be applied without restriction to all types of dairy products tested under the condition that the samples are adequately prepared. The rapidity, simplicity and precision of the proposed method seems to be completely satisfactory for the needs of routine quality control.

Bibliographie

1. *Bosset, J. O., Rüegg, M.* et *Blanc, B.:* La couleur du fromage et sa mesure: Essai de détermination par photométrie de réflexion. Schweiz. Milchw. Forsch. **6**, 1—6 (1977).
2. *Francis, F. J.* and *Clydesdale, F. M.:* Chap. 9 Transmission-reflection spectrophotometry and tristimulus colorimetry and chap. 10 Tristimulus colorimeters. In: Food colorimetry: theory and applications, pp. 73—98. Avi. Publ. Comp. Inc., Westport-Connecticut 1975.
3. *Bosset, J. O.* et *Misteli, K.:* Nouvelle cellule destinée à la détermination par photométrie de réflexion de la couleur d'échantillons opaques liquides, pâteux ou pulvérulents. Trav. chim. aliment. hyg. **69**, 109—115 (1978).
4. *Buma, T. J., von der Veen, H. K. C.* and *Weerstra, R.:* Seasonal variation of the colour of milk. Neth. Milk Dairy J. **31**, 31—39 (1977).
5. *Vujičić, I., Hassan, H. I.* i *Vujičić, V.:* Refleksometrijsko odredivanje boje mleka i mlečnik proizvoda (= Measurement of the color of milk and dairy products by means of reflectance). Works of the Agricultural Faculty, University of Sarajevo, Year XXIV, no 27, 659—665 (1976).
6. *Zadow, J. G.:* Studies on the ultra heat treatment of milk. Part. 1: Comparison of direct and indirect heating of whole milk. Aust. J. Dairy Technol. **24** 44—49 (1969). Part. 2: Measurement of the products of browning reactions as influenced by processing and storage. Ibidem **25**, 123—126 (1970).
7. *Ismail, A. A.* and *El Deeb, S. A.:* Effect of heat processing, storing and homogenization on the viscosity, opacity and stability of cow and buffalo milks. Z. Lebensm. Untersuch. -Forsch. **152**, 202—207 (1973).
8. *Burton, H.:* Colour changes in heated and unheated milk. I. The browning of milk on heating. J. Dairy Res. **21**, 194—203 (1954).
9. *Burton, H.:* Colour changes in heated and unheated milk. II. The whitening of milk on heating. J. Dairy Res. **22**, 74—81 (1955).
10. *Burton, H.* and *Rowland, S. J.:* Colour changes in heated and unheated milk. III. The effect of variation in milk composition on the whitening and browning of separated milk on heating. J. Dairy Res. **22**, 82—90 (1955).
11. *Burton, H.:* Colour changes in heated and unheated milk. IV The theoretical background to the reflectance changes in separated milk. J. Dairy Res. **22**, 200—204 (1955).
12. *Langsrud, T.* and *Solberg, P.:* Effect of dairy processes on surface colour of milk and milk products. Meieriposten **65**, 873—884, 905—915, 949—955 (1976). Cité d'après: Dairy Sci. Abstr.: **40**, no 1708 (1978).
13. *Langsrud, T.:* Measuring the colour of dairy products. Meieriposten **67**, 143—145, 147—148 (1978). Cité d'après: Dairy Sci. Abstr.: **40**, no 6204, 647 (1978).
14. *Washam, C. J., Birth, G. S., Giangiacomo, R.* et *Lin, P.:* La réflexion diffuse: mesures et applications dans l'analyse non destructrice des produits laitiers. XXème Congr. Intern. Laiterie (brève communication), pp. 432—433, Paris 1978.
15. *Dancila, I., Tintea, H., Costin, C., Ivan, I.* and *Dan, V.:* Degree of whiteness of milk and milk products. Industria aliment., Buc. **21**, 692—694 (1970). Cité d'après: Dairy Sci. Abstr.: **34**, no 2294, 411 (1972).
16. *Bilinska, M.* et *Klepacka, M.:* Influence de l'homogénéisation sur la couleur de la crème douce et du lait. XXème Congr. Intern. Laiterie, p. 864. Paris 1978.
17. *Horwitz, W.* (ed.): Protein-reducing substances (8); Official final action. In: Official methods of analysis of the AOAC, 12th edition, pp. 257—258. Assoc. Offic. Analyt. Chemists, Washington D. C. 1975.

18. *Aschaffenburg, R.* and *Drewry, J.:* New procedure for the routine determination of the various non-casein proteins of milk. C. R. XVe Congrès Internat. Laiterie **3**, 1631—1637. London 1959.
19. *Blanc, B.:* Einfluß der thermischen Behandlung von Milch auf den ernährungsphysiologischen Wert. Sonderdruck aus «Probleme der Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaft 5. IV. Drei-Länder-Ernährungstagung, 22.—23. September 1977, Wien».
20. *Zavarine, J., Tchekoulaieva, L.* et *Tchekoulaiev, N.:* Les changements de la couleur du lait condensé, sucré au cours de la conservation. XXème Congr. Intern. Laiterie, p. 750. Paris 1978.
21. *Aneja, R. P., Blankenagel, G.* and *Humbert, E. S.:* Whitening properties of coffee creamers. Part. I.: Quantitative evaluation. J. Inst. Can. Technol. Aliment. **7**, 40—43 (1974).

Dr J. O. Bosset
Mlle Brigitte Martin
Prof. Dr B. Blanc
Station fédérale de recherches laitières
CH-3097 Liebefeld-Berne