



HAL
open science

ÉTUDE PHYSICO-CHIMIQUE DU LAIT

W. Kopaczewski

► **To cite this version:**

W. Kopaczewski. ÉTUDE PHYSICO-CHIMIQUE DU LAIT. *Le Lait*, 1948, 28 (273_274), pp.114-141. hal-00927959

HAL Id: hal-00927959

<https://hal.science/hal-00927959>

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LE LAIT

REVUE GÉNÉRALE DES QUESTIONS LAITIÈRES

SOMMAIRE

Mémoires originaux :

W. KOPACZEWSKI. — Etude physico-chimique du lait	113
L. BLANCHARD. — Présence anormale de nitrites dans des fromages à pâte colorée	142
Jeanne BOISSELOT et J. CAUSERET. — Recherches expérimentales sur le lait de vache actinisé. II. Influence de l'actinisation sur la teneur du lait en vitamine B ₁ et en vitamine B ₂	145
E. R. HISCOW et A. ROWLAND. — Détersifs et désinfectants (Traduction de C. WOLF)	148

Bibliographie analytique :

1 ^o Les livres	158
2 ^o Journaux, Revues, Sociétés savantes	169
3 ^o Brevets	198

Bulletin bibliographique :

1 ^o Journaux, Revues, Sociétés savantes	199
----------------------------------------------------	-----

2 ^o Brevets	203
------------------------	-----

Supplément technique :

G. GÉNIN. — L'utilisation du sérum, résidu de l'industrie laitière	204
--------------------------------------------------------------------	-----

BULLETIN ANALYTIQUE :

1 ^o Revues	211
2 ^o Brevets	216

Documents et informations :

Valeur moyenne de la consommation annuelle de produits laitiers exprimée en litres de lait	220
VII ^e Congrès international des Industries agricoles et alimentaires. Paris, 12-18 juillet 1948	223
XII ^e Congrès international de laiterie (Stockholm, 1949)	224
Erratum	224

MÉMOIRES ORIGINAUX (1)

ÉTUDE PHYSICO-CHIMIQUE DU LAIT

par

W. KOPACZEWSKI

I. CARACTÈRES PHYSICO-CHIMIQUES

PRÉAMBULE

Les conditions d'équilibre du lait, considéré en tant que complexe colloïdal, ont été très peu étudiées. Au cours de nos recherches sur les biocolloïdes, nous avons réuni un certain nombre de faits qui, peu à peu, ont permis d'entrevoir l'existence d'analogies étroites entre les conditions de stabilité des divers biocolloïdes naturels complexes, tels que le lait, le jus de fruits (pectine) et le sang.

(1) Reproduction interdite sans indication de source,

Ainsi, en 1925, nous avons donné les résultats concernant les conditions de gélification (*) des sucres végétaux et de la pectine en particulier [1]. En 1934, nous avons découvert le phénomène de la gélification du sérum par l'acide lactique [2] et, ultérieurement, par divers autres substances acides, basiques et neutres [3]. Puis nous avons étudié le même phénomène en ce qui concerne les protides sanguins [4] et enfin, en 1937, le sang total [5]. En 1936, nous avons examiné la gélification de la caséine dans ses rapports avec celle du lait [6]. Plus récemment, en 1943 [7], dans une série d'expériences, nous avons soumis le problème de la gélification et de la stabilisation du sang total à une étude physico-chimique ; parallèlement, les mêmes expériences furent effectuées sur le latex des diverses plantes [8]. De toutes ces recherches nous avons tiré, en 1943, les conclusions suivantes [9] : « L'étude de la gélification de ces biocolloïdes complexes apporte une série d'arguments expérimentaux en faveur de l'identité du mécanisme de la gélification en général... Il semble que d'autres processus de gélification s'apparentent à ceux que nous avons déjà étudiés (gélification de l'amidon, de la gélatine, etc.). Nous examinerons cette question à part et nous nous proposons d'étudier ultérieurement, surtout les cas des colloïdes plus simples, de constitution chimique connue (silice, alumine, benzoylcystine, etc.). Mais, dès à présent, on peut conclure que la nature chimique de la substance intervient peu dans ce mécanisme et que c'est, avant tout, l'état physique de la matière qui règle le processus en question. Les travaux de MEHLITZ sur les pectines rendent compte du rôle joué par le degré de dispersion dans la préparation des gelées de fruits. »

« De plus, la gélification des biocolloïdes étudiés est analogue à celle provoquée par des ferments, dits « coagulants » (« coagulases »). On sait, en effet, que la gélification de la pectine s'obtient par la « pectase », celle du lait — par la « présure », celle du sang — par la « thrombase », etc. Or, en l'absence de ces ferments, réputés spécifiques, et qui ont servi de point de départ à toute cette théorie bien particulière, on obtient, par l'intervention des facteurs physiques ou chimiques, des gélifications analogues sinon identiques ; en effet, le temps et la température y jouent le même rôle que dans les processus de la gélification par les ferments. Toutefois, les substances dites antiseptiques ne paraissent avoir aucun effet sur

(*) Pour éviter tout malentendu, nous employons le terme de *gélification* pour désigner une prise en masse compacte et homogène, suivie, au bout d'un certain temps, de la sécrétion d'un liquide synérétique. Le terme de *coagulation* correspond à la formation d'un liquide plus ou moins visqueux, hétérogène, donnant lieu, assez rapidement à la séparation d'une phase liquide qui surnage un dépôt plus ou moins hydraté. La *floculation* est une séparation, au sein d'un système homogène liquide, d'une phase solide, non hydratée, qui sédimente aussitôt.

les gélifications par les facteurs physiques ou chimiques ; ainsi, les alcools, l'éther sulfurique, les solvants chlorés, l'aldéhyde formique, le permanganate de potassium, etc., retardent, tout au plus, la gélification, mais ne l'empêchent point. »

Nous donnons ici les détails de nos recherches en ce qui concerne le lait ; mais, pour comprendre les conclusions que nous croyons pouvoir tirer de ces résultats, il est important de résumer auparavant les caractères physico-chimique de ce liquide.

HISTORIQUE

En 1880, HAMBURGER a mesuré la pression osmotique du lait ; en 1891, DOHRMAN — sa conductibilité électrique ; en 1893, Van GRUTING, et, en 1896, BECKMANN et WINTER ont déterminé la concentration moléculaire du lait, en mesurant l'abaissement du point de congélation ; en 1884 — HELOT, en 1888 — DUCLAUX et en 1905 — HUMBERT et DUCROS ont effectué quelques mesures de sa tension superficielle ; la même année, FOA a fait la première détermination de son pH ; en 1908, KOBLER a fixé sa viscosité ; et enfin, en 1910, KREIDL et LENK ont appliqué à cette étude l'analyse capillaire. Tous ces promoteurs de l'étude physico-chimique du lait ont été suivis, par-ci, par-là, par d'autres chercheurs, mais toutes ces données sont contradictoires et incomplètes, les méthodes employées étant bien approximatives. En 1925, nous avons publié [10] les résultats de nos mesures personnelles concernant la tension superficielle, la viscosité et la conductibilité électrique du lait, et nous en avons tiré quelques conclusions ayant trait à la possibilité de son contrôle et à ses rapports avec les caractères physico-chimiques du sang. Nous les avons complétés et réunis dans les chapitres correspondants de notre *Traité de Biocolloïdologie* [11]. Nous allons les élargir dans les pages ci-dessous, en retraçant, aussi complètement que possible, l'état actuel de nos connaissances à ce sujet, en tenant compte surtout des caractères conditionnant l'équilibre colloïdal de ce liquide biologique.

1. Densité du lait.

La densité du lait a été étudiée à plusieurs reprises : elle varie peu avec la race et l'âge de l'animal, sous l'influence de l'alimentation, du travail, et présente, parfois, des variations brusques et accentuées chez le même animal, quoique soumis à la même alimentation durant un laps de temps prolongé. Tenant compte de ces facteurs on peut considérer les chiffres extrêmes de la densité à 15° C. comme comprise entre 1,028 et 1,037 ; le chiffre de 1,031 correspond à un lait normal d'une vache de 8 ans : d'après les recherches de TOCHER (1925), comportant environ 700 mesures, la densité du lait de vache est de 1,031 dans 80 % des cas.

2. Concentration moléculaire.

La concentration moléculaire globale fut mesurée, en 1893, à l'aide de l'abaissement du point de congélation, tout d'abord par Van GRUTING, puis par E. BECKMANN, en 1884, par J. WINTER en 1896 et ensuite par d'autres auteurs, dont KOEPPE, en 1900. Il résulte de toutes ces recherches que l'abaissement du point de congélation varie dans des limites extrêmement étroites ; mais, d'une façon générale, dans la grande majorité des cas, l'abaissement du point de congélation oscille autour du chiffre 0,555. En voici la récapitulation :

Chiffres extrêmes	Moyennes	Auteurs
0,440-0,560	—	BORDAS
0,460-0,480	0,470	BOGDAN
0,495-0,630	—	BOTTAZZI
0,520-0,560	0,550	BERNARD
0,530-0,562	0,546	STUBER
0,537-0,582	0,577	BUCHANAN
0,540-0,570	0,555	WINTER
0,542-0,570	—	HUMMELINCK
0,545-0,565	0,550	MAC LAURIN
0,545-0,565	0,555	STOECKLIN
0,550-0,570	0,565	NENCKI
0,550-0,560	0,555	GUIRAUD
0,551-0,574	0,561	V. GRUTING
0,558-0,571	0,567	V. der LAAN
0,558-0,567	0,567	LAM
0,580-0,590	0,585	BASSET (1)
	0,548	MURPHY
	0,554	BECKMANN
	0,562	KOEPPE
0,510-0,567	0,56	Confrontation (2)

On peut donc admettre le chiffre de $0^{\circ}56$ comme représentant l'abaissement du point de congélation provoqué par des matières dissoutes dans le lait de vache ; il correspond à une teneur en chlorure de sodium de 0 gr. 95%. Il s'ensuit que le lait est isotonique au sang du même animal (0,550-0,585).

Du reste, les mesures directes, effectuées par DRESER, en 1892, d'une part, sur du lait et, d'autre part, sur du sérum provenant

(1) Les chiffres de *Basset* furent obtenus par une méthode spéciale : l'abaissement de 0,585 correspond, en réalité, à 0,555 de Winter.

(2) Nous faisons abstraction, dans cette confrontation, des chiffres donnés par *Bodgan*, *Bottazzi*, *Buchanan*, *Bordas* et autres s'éloignant trop de ceux indiqués par la grande majorité des autres investigateurs.

du même animal (vache et chèvre) prélevés au même moment, corroborent cette conclusion. Voici ces résultats pour la vache :

Abaissement du point de congélation	
Lait	Sérum
— 0°540	— 0° 535
— 0°560	— 0°570
— 0°556	— 0°556

KOEPPE, en 1910, a confirmé ces données :

Lait	Sérum
— 0°566	— 0°570
— 0°550	— 0°556
— 0°535	— 0°540
— 0°570	— 0°570

Cet abaissement est de 0°611 aussi bien pour le sérum que pour le lait de chèvre.

D'autre part, étant donné la précision de la méthode cryométrique (0°001), il était naturel de penser à l'appliquer à la découverte des fraudes, notamment au *mouillement* du lait. BECKMANN, BASSET et Van der LAAN ont fait à ce sujet quelques mesures ; il en résulte que l'on peut dépister sûrement, par cette mesure, l'addition d'environ 8% d'eau. Voici quelques chiffres tirés du travail de Van der LAAN et de BASSET :

	Van der Laan	Basset
Lait de vache pur	— 0°576	— 0°590
10% d'eau	— 0°517	—
20% d'eau	— 0°457	— 0°530
40% d'eau	— 0°341	—
50% d'eau	—	— 0°285

Notons que la variation de 0°01 permet d'apprécier l'addition de 1,82% d'eau.

Signalons, enfin, que, d'après GOOREN, l'*homogénéisation*, la *pasteurisation* et la *stérilisation* du lait de vache abaissent le point de congélation de ce liquide ; mais SAITO, ELSDON et STUBBS n'ont pas confirmé ce résultat.

On peut, dans une certaine mesure, évaluer la concentration globale des substances dissoutes dans le lait par une autre méthode physique, notamment par la mesure de l'*indice réfractométrique*. On utilise dans ce but la relation établie par LORENZ-LORENTZ :

$$IR = \frac{N^2 - 1}{d(N^2 + 2)}, \text{ où}$$

N est l'indice des réfractions, et
d — densité.

Cette méthode a été proposée pour l'étude du lait par VILLIERS et BERTAULT en 1898 ; toutefois, on a vite tourné les difficultés dans la pratique frauduleuse, en additionnant les laits de produits isoréfringents. Certains auteurs, au lieu de suivre les premiers travaux de VILLIERS et BERTAULT en mesurant l'indice de réfraction du lait total par les appareils de Pulfrich ou d'Abbé, ont utilisé le sérum obtenu en floculant la caséine, soit par l'acide acétique, soit par le chlorure de calcium. Ces mesures sont donc à reprendre sur le lait complet. Ce que l'on peut dire à l'heure actuelle c'est que le sérum lactique de vache possède un indice réfractométrique constant :

1,3430-1,3445	Monvoisin
1,3470-1,3515	Jorgensen

3. Concentration ionique globale.

C'est DOHRMANN, en 1891, qui a effectué les premières mesures de la conductibilité électrique ; mais sa méthode de travail n'était pas exempte de critique ; il en est de même des résultats signalés par THOERNER, de sorte que l'on peut considérer comme première mesure correcte effectuée à ce sujet celle de Van der LAAN en 1896. Il fut suivi, en 1902, par LESAGE et DONGIER ; par PETERSEN et TORTOSA, en 1904 ; par SCHNORF, en 1905 ; par BINAGHI, en 1911, et par bien d'autres.

Voici la confrontation de tous ces résultats :

Chiffres extrêmes	Moyennes	Auteurs
33,9-94,3 (10 ⁻⁴)	45,0 (10 ⁻⁴)	KOEPPE
35,1-105,1	42,0	KRENN (1932)
36,1-59,1	47,6	PETERSEN
38,7-86,0	—	KOPACZEWSKI
39,3-56,3	—	PLUCKER
41,5-46,8	—	LESAGE et DONGIER
42,0-51,0	44,0	KRENN (1938)
42,7-74,4	45,0	STROHECKER
43,0-57,0	—	SCHNORF
45,1-49,0	—	BECKMANN et JÖRDIS
45,5-55,6	—	THOERNER
45,7-54,2	—	FLOHIL
46,2-49,1	—	JÖRDIS
47,9-49,8	—	BINAGHI
38,7-86,0	45,0	Confrontation (1)

(1) Nous faisons abstraction des chiffres de *Koeppe* et des premières mesures (1932) de *Krenn*, très en dehors des résultats de la plupart des autres auteurs.

On constate donc que la concentration ionique globale du lait est d'environ deux fois plus faible que celle du sang, alors que la concentration moléculaire globale est dans les deux cas sensiblement égale.

Les chiffres donnés en 1900 par KOEPPE, tout en s'écartant de ceux publiés par la plupart d'autres auteurs, confirment cette conclusion par des mesures directes, faites sur du lait et sur du sérum du même animal (vache) prélevés au même moment :

Conductibilité électrique en 10^{-4}	
Lait	Sérum
94,3	106,3
87,7	97,9
62,9	107,9
33,9	95,6

On a étudié la conductibilité électrique du lait dans différentes conditions physiologiques et, aussi, du lait soumis à diverses manipulations physiques ou chimiques. Selon certains auteurs ce caractère physico-chimique varie, *chez le même animal*, parfois dans des proportions considérables, pouvant atteindre 30% (LUYET); la *saison* de la récolte y joue un certain rôle (STROHECKER), mais il semble, d'après tous ces résultats, que la concentration ionique globale dépend de l'alimentation des animaux et le rôle de ce facteur est ici plus net que dans le cas de l'abaissement du point de congélation.

L'écémage du lait a donné lieu à des résultats discordants : d'après STROHECKER, le rôle de ce facteur serait nul ; d'après LUYET, il augmenterait à peine la conductibilité électrique, tandis que pour TAYLOR un écémage de 5% correspondrait à une augmentation de la conductibilité électrique du lait de 11,4%.

Selon COSTE et SHELBORN il n'y a pas de relation entre la *teneur en cendres* et la conductibilité électrique.

D'après ROEDER, l'addition des *stabilisants* variés (carbonate, bicarbonate et phosphate de sodium) serait sans effet sur la conductibilité électrique du lait, ce qui plaiderait en faveur de l'existence d'un pouvoir-tampon ionique.

Par contre, la *dilution* avec de l'eau distillée modifie fortement ce caractère physico-chimique : cette conclusion s'ensuit des recherches de Van der LAAN (lait de vache), de LESCEUR (lait de chèvre), ainsi que de nos propres mesures.

Voici la résistivité du lait de vache dilué, à 18° C. (Van der LAAN) :

Pur	77,2 ohms
10% d'eau	82,9 ohms
20% d'eau	89,5 ohms
40% d'eau	110,8 ohms

Les résultats obtenus par nous-mêmes sont sensiblement concordants :

Pur	50,0 (10 ⁴)
50%	84,0 (10 ⁻⁴)
75%	151,0 (10 ⁻⁴)

Voici les résultats de LESCŒUR pour le lait de chèvre, à 25° C. :

Pur	146,0 (10 ⁻⁴)
10% d'eau	153,0 (10 ⁻⁴)
50% d'eau	232,0 (10 ⁻⁴)

On voit que dans les deux cas la conductibilité augmente : davantage dans le cas du lait de vache que dans celui de chèvre ; or, elle devrait baisser étant donné la faible conductibilité de l'eau distillée (de l'ordre de 10⁻⁶) ; on doit donc conclure que la simple dilution libère les ions absorbés par les micelles colloïdales. Notons, enfin, que cette augmentation est plus faible que l'abaissement du point de congélation signalé précédemment. Il semble donc que cette mesure ne peut servir qu'au dépistage du mouillement du lait au delà de 10%.

4. Concentration en ions K.

Les premières déterminations à ce sujet furent faites par FOA, en 1905 et par Van DAM, en 1908 ; puis par ALLEMANN, en 1912 ; par DAVIDSOHN, en 1913 ; par TAYLOR et OBERMAIER, en 1919 ; par SCHULTZER et TAKATI, en 1921 ; depuis cette date le nombre des travaux publiés sur ce sujet allait en augmentant. Voici la confrontation des principaux résultats :

Variations extrêmes	Moyennes	Auteurs
6,0-7,7	—	SHARP et McINERNEY
6,3-6,8	—	NOKAYAMA
6,4-6,6	—	LISK
6,4-6,9	6,6	RICE, MARKLEY, ALLEMANN.
6,5-6,7	6,6	LEBLOND
6,5-7,2	6,6	Van SLYKE et BAKER
6,5-6,6	—	BAKER et BREAD
6,5-6,8	—	Van DAM
6,6-6,7	6,6	SCHWARZ et FISCHER

6,6-6,8	—	MILROY
6,7-6,8	—	SCHULTZÉ
	6,6	CLARK, DAVIDSOHN
6,7-6,9	—	GOLDING, MATTICK
6,7-7,7	—	GIRIBALDO, FOA
6,3-6,9	6,6	Confrontation (1)

On constate aisément que la concentration en ions H du lait de vache frais est une constante, tout comme la concentration moléculaire globale et ionique.

La mesure de la concentration en ions H a permis d'établir l'existence d'un *pouvoir-régulateur* du lait envers ces ions, ce qui explique du reste la fixité de la première. Le fait a été observé par BINAGHI, en 1910, et étudié par Van SYLKE, en 1916 : il faut 0,0186 gramme-équivalent d'un acide pour faire passer d'une unité de pH un lait dont le pH initial fut 6,6. Il semble que l'on se trouve en présence d'un *phénomène d'adsorption*. Ce phénomène se manifeste envers d'autres ions, ce que nous avons montré en 1925 à propos d'iode : en additionnant 15 cm³ de lait de 0 gr. 3 d'iode métallique, sa résistivité est à peine modifiée (elle s'abaisse de 37,2 à 36 ohms), tandis que la conductibilité électrique de l'eau distillée saturée d'iode (environ 3‰) passe de 6,0 à 730. 10⁻⁶.

5. Pouvoir réducteur du lait.

En 1887, E. DUCLAUX a constaté que le lait décolore une solution de carmin d'indigo ; en 1897, VAUDIN, puis BERTIN-SANS et GAUJOUX ont observé la décoloration du bleu de méthylène. Un certain nombre de recherches ont été consacrées au mécanisme de cette action réductrice et, récemment, JACKSON l'a attribué à la lactoflavine. Nous en reparlerons en détails plus loin.

6. Viscosité.

Les recherches à ce sujet sont peu nombreuses. SOXHLET, en 1876, a mesuré pour la première fois cette constante capillaire ; depuis cette époque peu d'auteurs y ont consacré une attention suivie. Voici les résultats de ces investigations :

Chiffres extrêmes	Auteurs
1,67-2,03	CAVAZZONI
1,06-2,15	KOBLER
1,85-2,15	BOGDAN
1,99-2,06	MADELLA
-2,41 (15° C.)	SOXHLET
1,60-2,20 (15° C.)	KOPACZEWSKI
1,6-2,4	Confrontation

(1) Nous faisons abstraction des chiffres dépassant 7,0, ayant trait manifestement à des laits anormaux (*Sharp, Slyke, Giribaldo et Fodé*).

Il semble donc que la viscosité du lait de vache est constante. De plus, le lait est isovisqueux avec le sérum du même animal. On n'a pas fait des études détaillées permettant d'être fixé sur les variations de cette constante physique dans les diverses conditions physiologique et industrielles (alimentation, âge, saison, etc.).

Notons, cependant, que la *chauffe* du lait jusqu'à 60° C. abaisse sa viscosité, tandis que celle au delà de 70° C. l'augmente ; il s'agit naturellement de mesures effectuées sur du lait refroidi à 20° C. Ces résultats furent obtenus par TAYLOR et confirmés par WEILIG. L'*hamogénéisation* du lait provoque une augmentation de sa viscosité, ce qui a été constaté par WIEGNER et par BUGLIA. La viscosité du lait dépend également du *degré de dispersion des matières grasses*, ce qui a été vu par BABCOCK.

7. Tension superficielle.

Ainsi que nous l'avons déjà dit c'est HELOT qui, en 1884, a eu, le premier, l'idée de mesurer la tension superficielle du lait de femme ; en 1894, DUCLAUX, puis toute une série d'auteurs se sont occupés de cette question. En 1939, CARDOSO et WAUCOLLE ont étudié en détail la tension superficielle du lait de vache au Brésil (Région de Sao-Paulo) ; et, enfin, en 1942, a paru une thèse de X. JOIGNEREZ consacrée à ce sujet.

Voici la récapitulation concernant la tension superficielle du lait de vache :

Chiffres extrêmes	Moyenne	Auteurs
43,5-43,6 (20° C.)	43,6	MOHR et BROCKMANN
46,0-51,9 (15° C.)	49,0	JOIGNEREZ
48,8-55,3 (18° C.)	50,7	BELLE
49,4-53,3	51,5	CARDOSO et WAUCOLLE
50,0-56,5 (15° C.)	53,0	KOPACZEWSKI
50,6-57,3	53,9	KOBLER
51,8-59,2	55,5	IMBERT et DUCROS
53,0-57,9	55,0	BASSET
54,0-56,9	55,1	MEILLERE
— —	53,0	KOESTLER
46,0-59,2	52,0	Confrontation

Pour CARDOSO et WAUCOLLE la tension superficielle des laits brésiliens évoluerait entre 50,4 et 52,3 dynes/cm. dans 87% des cas.

On peut donc constater que la tension superficielle du lait est nettement inférieure à celle du sérum sanguin du même animal, ainsi qu'il en résulte de nos recherches personnelles : en effet, cette dernière oscille dans des limites très étroites, notamment entre 68,0 et 69,0.

Étudions l'influence des divers facteurs, physiologiques et méca-

riques, sur la tension superficielle du lait de vache. Soulignons, tout d'abord, que la tension superficielle normale de ce liquide mérite encore d'être précisée, non seulement en ce qui concerne la méthode employée, mais aussi en ce qui concerne la température à laquelle cette mesure est effectuée ; or, cette dernière est rarement indiquée dans les travaux des auteurs qui se sont occupés de la question. D'autre part, selon la méthode employée les résultats obtenus changent du tout au tout : ainsi la méthode des gouttes tombantes donne, en général, des chiffres plus élevés, de 10% environ, à ceux obtenus par la méthode statique, telle que l'arrachement d'un anneau. Ces lacunes rendent la comparaison des résultats fallacieuse et, *ipso facto*, enlèvent la rigueur scientifique à toute base de départ.

Ajoutons à ces restrictions l'existence des écarts, parfois très marqués, de la tension superficielle du lait chez le *même animal* : ainsi d'après JOIGNEREZ, des écarts de 2 à 3 dynes/cm. sont fréquents et, exceptionnellement, peuvent atteindre 4 dynes/cm., tout en opérant à l'aide de la même méthode et à la même température. D'autres facteurs modifient cette constante capillaire. D'après JOIGNEREZ, l'alimentation peut produire des variations de 2 à 3 dynes/cm. : ainsi des animaux en pâturage donnent du lait ayant surtout une tension superficielle abaissée de 3 dynes/cm. environ et rarement augmentée d'environ 1 dyne/cm. Par contre, d'après le même auteur, la tension superficielle se maintient au même niveau durant toute l'année si le régime alimentaire reste inchangé.

Le lait subit une baisse de sa tension superficielle d'environ 3 dynes/cm. durant 2-3 heures consécutives à *la traite*, ce qui a été vu par BELLE et confirmé par JOIGNEREZ.

Etudions l'influence des divers facteurs physiques :

La *filtration* du lait est sans action sur cette constante capillaire (JOIGNEREZ).

Les résultats obtenus avec du lait soumis à une *agitation* sont discordants. Nous avons signalé, en 1936, que le lait agité durant 5 minutes subit une augmentation d'environ 2 dynes/cm. ; toutefois nous avons dit que « ces mesures, effectuées sur un liquide non équilibré, n'ont pas une signification précise ». JOIGNEREZ affirme que le lait entier, agité à la main, avant toute montée de la crème, ne présente aucune modification de sa tension superficielle. Par contre, pour CARDOSO et WAUCOLLE une agitation manuelle violente durant 5 minutes abaisserait, dans les vingt cas étudiés, cette constante capillaire de 50,9 à 48,6 dynes/cm.

La *centrifugation* du lait, en provoquant son écrémage, devrait, semble-t-il, modifier la valeur du caractère capillaire envisagé ; or, les résultats sont discordants. Ainsi, pour BASSSET un écrémage de

15% diminue à peine la tension superficielle du lait ; MOHR et BEHRENDT sont du même avis ; par contre, pour SEGALE, DAHLBERG et HENING l'écémage provoque une augmentation de la tension superficielle du lait d'environ 3 dynes/cm. Enfin, pour CARDOSO et WAUCOLLE, l'écémage par centrifugation serait sans effet. Peut-être ces discordances s'expliquent par les variations du degré de dispersion des matières grasses.

Tout aussi contradictoires sont les résultats obtenus en étudiant le vieillissement du lait : d'après DAHLBERG et HENING, la tension superficielle du lait décroît légèrement avec son âge ; nous avons, par contre, constaté en 1936 une augmentation graduelle de cette constante capillaire, suivie, après la gélification, d'une baisse notable dans du sérum formé. Cette baisse de la tension superficielle du sérum a été retrouvée, après la gélification du lait, par JOIGNEREZ, ainsi que son accentuation progressive surtout au cours de l'acidification microbienne. Mais, d'après BELLE on assisterait à une baisse progressive de la tension superficielle durant le premier jour. Les expériences de BELLE ont été, probablement, effectuées sur des laits plus frais que ceux livrés au commerce parisien ayant servis à notre expérimentation, dont la gélification est par conséquent plus rapide ; d'autre part, la méthode expérimentale utilisée (méthode d'arrachement d'un anneau) est susceptible, dans ce cas particulier surtout (formation d'un film de matière grasse), de donner des résultats erronés. CARDOSO et WAUCOLLE ont mesuré la tension superficielle du lait au cours de son vieillissement ; voici les chiffres obtenus par ces auteurs :

Jours	Tension superficielle (dynes/cm.)
0	53,3
1	49,9
2	50,4
3	48,9
4	49,4
5	49,4
6	49,4
7	49,9
8	49,9
9	50,9
10	50,9

On peut donc considérer que le vieillissement du lait frais, complet, n'ayant subi aucun traitement thermique, provoque *in fine* une augmentation de la tension superficielle jusqu'au moment de sa gélification, laquelle est suivie d'une baisse notable de la valeur de cette constante dans le liquide synérétique.

L'action de la *chauffe* sur la tension superficielle du lait n'a pas été fréquemment étudiée. D'après DAHLBERG et HENING la pasteurisation du lait (chauffé durant quelques minutes à 70-80° C.) augmente la tension superficielle du lait d'environ 2 dynes/cm. Tel est également l'avis de JOIGNEREZ : le lait chauffé à 85° C., et refroidi ensuite, possède une tension superficielle plus élevée ; cette élévation atteint 1 dyne/cm. dans le cas du lait individuel ; elle est moins importante dans les mélanges. CARDOSO et WAUCOLLE ont fixé la tension superficielle du lait à des températures diverses allant de 0 à 50° C. ; voici ce qu'ils ont obtenu :

Température	Tension superficielle (dynes/cm.)
0	59,0
6	56,2
10	54,3
15	52,3
20	50,9
30	49,9
40	48,9
50	48,0

D'autre part, les mêmes auteurs ont déterminé les variations de la tension superficielle du lait chauffé durant 5 minutes à des températures variant de 30 à 100° C., et ils ont obtenu les chiffres suivants :

Chauffe	Tension superficielle (dynes/cm.)
0	50,4
5 à 30	49,9
40	51,4
50	51,8
60	53,3
70	51,4
80	50,9
90	«
100	»

En tenant compte de ces résultats, on constate, d'une part, que la chauffe à partir de 40° C. augmente déjà la tension superficielle du lait et que, d'autre part, cette augmentation atteint son maximum à 60° C. ; à partir de cette température la tension superficielle baisse jusqu'à 80° C. et ne subit aucune variation au delà de cette température.

Il nous reste à étudier l'influence de la *dilution*. En 1905, BASSET a constaté que la tension superficielle du lait, dédoublé avec de l'eau distillée, n'est, pour ainsi dire, pas modifiée (augmentation de 1,6 dynes/cm.). Nous avons répété ces expériences, en 1936, et

nous en avons tiré une indication en faveur de l'existence « d'un pouvoir régulateur énergétique qui permet au lait de s'opposer à des actions extérieures, tendant à modifier ses caractéristiques physiques. » En 1939, CARDOSO et WAUCOLLE ont confirmé nos résultats ; voici quelques chiffres à ce sujet :

Dilution	Tension superficielle (dynes/cm.)
0	50,1
1/10	50,4
1/5	49,4
1	49,4
5	49,4
10	48,9

L'existence de ce pouvoir-régulateur capillaire du lait est corroborée par quelques mesures effectuées par MOHR et BROCKMANN, et par JOIGNEREZ, concernant la tension superficielle du lait additionné des divers *stabilisants*, tels que l'aldéhyde formique à 5‰ ou l'acide salicylique à 1‰. CARDOSO et WAUCOLLE, en étudiant l'action des stabilisants, tels que l'aldéhyde formique, l'acide salicylique, l'acide borique, le bicarbonate de sodium et l'« amido », ont également vu que la tension superficielle du lait ne subit alors aucune modification.

8. Charge électrique.

Ce caractère colloïdal du lait n'a pas été étudié. Nous ne connaissons, à ce sujet, que le travail de KREIDL et LENK, qui ont appliqué à cette étude l'analyse capillaire de GOPPELSROEDER ; mais ils ont surtout essayé d'interpréter les résultats du point de vue du degré de dispersion des colloïdes du lait.

Tel est l'ensemble des données accumulées concernant les caractères physico-chimiques du lait de vache.

Pour constituer une base expérimentale solide nous avons essayé de vérifier et d'étendre toutes ces données physico-chimiques, en utilisant les laits d'origine variés (frais, pasteurisé, écrémé, condensé, sucré et non sucré, homogénéisé et desséché).

RECHERCHES PERSONNELLES

A. Méthodes expérimentales

Rappelons les méthodes expérimentales utilisées et les conditions dans lesquelles nous nous sommes placés.

1. *La densité* était déterminée à l'aide des densimètres spécialement construits, à tiges plates, portant les divisions de 1.0250 à

1.0350 sur une longueur de 5 cm. ce qui permettait de lire la 4^e décimale.

2. *La tension superficielle* était mesurée à l'aide de notre tonomètre, placé dans une atmosphère saturée de vapeurs d'eau ; la température était exactement fixée et les liquides filtrés à travers du coton hydrophile, placé dans l'entonnoir du tonomètre.

3. *La viscosité* était établie en utilisant notre viscodensimètre, ce qui permettait en même temps de contrôler la densité.

4. *La conductibilité électrique* était chiffrée par la méthode de Kohlrausch.

5. *La concentration en ions H* fut appréciée par la méthode colorimétrique en utilisant le bleu de bromo-thymol et les tests de Pereira.

6. *La charge électrique* s'ensuivait de la comparaison des deux méthodes : électrophorèse et analyse électrocapillaire, que nous avons élaborée en 1926 et dont nous nous servons depuis pour l'établissement de la charge globale des biocolloïdes variés.

7. *Le degré d'hydratation* des micelles colloïdales apparaissait au cours de l'analyse électrocapillaire ; on peut l'apprécier par la hauteur d'ascension de l'eau dans le papier-filtre.

Les mesures de la *concentration moléculaire* n'ont pas été effectuées car elles n'ont que peu d'importance au point de vue colloïdal ; du reste, nous l'avons vu, le lait possède à ce sujet une constance remarquable : l'abaissement de son point de congélation et son indice réfractométrique sont fixes.

On trouvera d'autres détails techniques dans nos publications d'ensemble.

Les mesures effectuées furent toujours ramenées à 15° C. Les divers échantillons de laits provenaient de sources variées : des fermes (dans ce cas nous avons assisté à la traite), ou des laiteries (parisiennes, toulousaines ou marocaines) ; ils furent alors préalablement filtrés. Nous avons également examiné aussi bien les lait complets n'ayant subi aucune manipulation, que les laits agités, dilués, écrémés à la centrifugeuse, pasteurisés (chauffé de 3 minutes à 85° C.), tyndallisés (3 chauffés de 5 minutes à 60° C.), bouillis. Enfin, nous avons étudié les laits concentrés : homogénéisés, sucrés et non sucrés, et, enfin, les laits en poudre d'origines diverses : américaine, suédoise, suisse et française.

Dans les cas des laits condensés, ou en poudre, nous avons dispersé ces préparations dans de l'eau distillée, dont les caractères physico-chimiques furent préalablement vérifiés, de façon à obtenir une dispersion d'une densité égale à 1,031, considérée comme celle

d'un lait normal complet ; pour le lait condensé sucré elle était majorée de 0,0613, correspondant à la densité d'une solution de saccharose à 15%, dont ces laits sont additionnés.

L'ensemble de nos mesures s'étend sur 158 échantillons de laits frais complet, sur 24 échantillons de lait condensé non sucré, sur 31 échantillons de lait condensé sucré et sur 6 échantillons de lait sec (1).

Voici les résultats que nous avons obtenus et qui, semble-t-il, fixent les caractères physico-chimiques du lait de vache.

B. Résultats

1. *Densité.* Nous ne nous attarderons pas sur la densité du lait : dans la grande majorité des cas le lait en France possède une densité moyenne de 1,031 ; les limites extrêmes en sont 1,029-1,033. Nous faisons abstraction des laits du Maroc (Rabat et Casablanca), dont la densité est en général plus faible (mouillement ?) ; toutefois, le lait d'une ferme tenue par des Français avait une densité exceptionnelle de 1,0345 à 15° C. (été 1945).

2. *La tension superficielle.* Elle a fait déjà l'objet d'une étude d'ensemble de notre part en 1936 : les chiffres oscillent entre 51,7 et 55,0 dynes/cm. ; depuis cette époque, nous avons vu quelques échantillons dont la tension superficielle s'abaissait à 50,0 dynes/cm. ou s'élevait à 56,5 dynes/cm., ce dont nous avons tenu compte dans un travail récapitulatif en 1938. Récemment, nous avons constaté une tension superficielle de 56,7 dynes/cm., mais, sur 14 échantillons de lait (mélanges) les chiffres oscillaient, le plus fréquemment, entre 52,6 et 54,2 dynes/cm. On peut donc considérer tout lait, dont la tension superficielle s'écarte des chiffres extrêmes : 50,0-55,0 dynes/cm. comme suspect ; le lait normal a une tension superficielle comprise entre 53-54 dynes/cm.

La tension superficielle du lait subit des variations sous l'influence des diverses manipulations : agitation, dilution, écrémage, chauffe, etc.

Voici les résultats obtenus concernant l'action de l'agitation durant 5 minutes sur la tension superficielle du lait :

Avant l'agitation	Après l'agitation
54,1	56,7
52,5	54,4
55,4	56,8
56,5	58,1

(1) Nous remercions vivement M. Thieulin de nous avoir aidé efficacement dans ces recherches, en nous procurant des échantillons des divers laits de vache, ce qui nous a permis de compléter ainsi notre documentation antérieure.

Nous avons repris cette étude : le lait frais du jour, complet, a été agité durant 5 à 30 minutes à la cadence de 160 renversements par minute ; voici les chiffres :

Avant l'agitation	Après l'agitation	
	5 minutes	30 minutes
52,5	52,8	54,1
51,7	52,4	53,8
50,8	51,2	52,5

Ces résultats sont conformes à la règle de Gibbs-Thompson, d'après laquelle les substances à basse tension superficielle se condensent dans la mousse ; on sait que par l'agitation on peut séparer, sous forme de mousse, diverses substances en question, telles que l'albumine, la saponine, etc... De plus, ils correspondent à ceux que nous avons signalés en 1917 pour le sérum sanguin agité durant 2 heures à 12 renversements par minute et qui, de ce fait, floccule partiellement (ultramicroscopie).

En résumé, l'agitation augmente, parfois nettement, la tension superficielle du lait complet ; ce fait est corroboré par la tension superficielle du lait mécaniquement homogénéisé, toujours supérieure à celle du lait n'ayant pas été soumis à ce traitement : elle oscille entre 56,9 et 57,2 dynes/cm. (7 mesures). Par contre, le lait, écrémé par centrifugation énergique et agité ensuite durant 5 minutes à la cadence de 160 renversement par minute, a sa tension superficielle très fortement abaissée :

Avant l'agitation	Après l'agitation
59,9	54,9
58,6	55,0
56,2	55,3

L'écémage par séparation spontanée augmente légèrement cette constante capillaire, ce que nous avons observé en 1936 : de 54,2-54,9 elle passe à 54,8-55,1 dynes/cm., respectivement ; nous avons donc conclu qu'une fraction des substances tensio-actives se trouve dans les particules des matières émulsionnées. Nous avons constaté depuis qu'après l'écémage par la centrifugation, durant 25 minutes à 3.000 tours, cette augmentation est particulièrement élevée :

Avant centrifugation	Après centrifugation
52,5	59,9
56,2	60,2

L'action de la *dilution* est intéressante : le lait dilué conserve sa tension superficielle :

Lait pur	53,7
5% de H ² O	54,2
10% de H ² O	53,9
20% de H ² O	53,7

L'eau ayant une tension superficielle de 73 dynes/cm., donc d'environ 20% supérieure à celle du lait, il s'ensuit que ce dernier possède un mécanisme régulateur capillaire qui compense cette augmentation au cours de la dilution. Nous verrons plus loin que ce mécanisme régulateur joue à l'égard des substances qui abaissent la tension superficielle.

L'influence de la *chauffe* sur la tension superficielle du lait a été peu étudiée : les chiffres publiés ne concordent pas, ainsi que nous l'avons déjà signalé plus haut. Nous avons effectué récemment plusieurs mesures sur le même échantillon de lait : frais, chauffé 3 minutes à 85° C. et bouilli 2 minutes dans un vase couvert. Voici les résultats de ces mesures effectuées sur des échantillons refroidis à 15° C. :

Lait frais	Chauffé à 85° C.	Bouilli
50,3	52,5	53,1
52,5	54,2	55,0
54,2	57,1	57,1

L'action de la *chauffe* sur le lait fortement centrifugé, autrement dit écrémé, est moins nette ; toutefois, nous n'en avons fait qu'une seule mesure :

Lait frais	Chauffé à 85° C.	Bouilli
59,9	60,2	60,6

Etant donné les discordances relevées en ce qui concerne les variations de la tension superficielle au cours de la *conservation* du lait, nous avons repris cette étude aussi bien sur du lait complet que sur du lait écrémé. Voici les résultats obtenus :

Temps de conservation	Lait complet	Lait écrémé
Frais	52,5	59,9
48 heures	52,0	56,3
96 heures	52,6	54,8

Ainsi, la tension superficielle du lait complet ne varie pas durant les premiers quatre jours, tandis que celle du lait écrémé baisse progressivement. Nous reviendrons sur ces résultats, contrairement à ceux que nous avons signalés en 1936, en étudiant la gélification du lait.

Il serait intéressant de reprendre l'étude de la tension superficielle, comparativement avec le même lait soumis, successivement,

aux diverses manipulations, telles que l'homogénéisation, la chauffe, la concentration, la dessiccation, etc. Nous donnerons plus loin les caractères physico-chimiques des divers laits industriels, ce qui nous permettra d'avoir une première impression sur les variations de la tension superficielle provoquées par ces opérations.

Il est regrettable, enfin, que l'on n'ait pas étudié l'influence de la *dialyse*, car une telle étude pourrait nous renseigner sur la nature des substances tensio-actives ; nous reviendrons sur ce problème plus loin. Actuellement, il semble acquis qu'une fraction de ces substances est constituée par des lipides.

3. *Viscosité*. Nos recherches récentes (14 échantillons) confirment les données précédemment signalées : la viscosité des laits français oscille entre 1,72 et 2,00.

Nous avons mesuré la viscosité du lait *centrifugé* durant 30 minutes à 3.000 tours par minute : la viscosité spécifique s'abaisse alors considérablement : de 1,72 à 1,51.

La *chauffe* du lait augmente légèrement sa viscosité : de 1,71 elle passe à 1,79 pour le lait chauffé 3 minutes à 85° C. et à 1,83 pour le lait bouilli 2 minutes dans un vase bouché.

Par contre, l'*agitation* du lait durant 5 minutes, à la cadence de 160 renversements par minute, diminue cette valeur : de 1,71 elle tombe à 1,62 ; il en est de même pour le lait centrifugé : de 1,51 avant l'agitation, la viscosité s'abaisse à 1,46 après.

Enfin, la viscosité du lait augmente au cours de sa *conservation* : après 2 jours de conservation à 15° C. elle monte de 1,71 à 1,89 et après 4 jours à 2,42 ; par contre, cette augmentation est plus faible avec du lait centrifugé : de 1,51 la viscosité passe à 1,63 après 4 jours de conservation ; notons que le lait conservé a été, avant toute mesure, soumis à une agitation durant 5 minutes à la cadence de 60 renversements à la minute pour le rendre homogène. Nous étudierons plus loin l'allure de ces variations en parlant de la gélification du lait.

4. *Concentration ionique globale*. Nos recherches récentes confirment les données précédemment signalées : la conductibilité électrique de 14 échantillons du lait complet du jour oscille entre 42,0 et 47,4 (10^{-4}).

L'*écrémage* du lait par centrifugation énergique ne change, pour ainsi dire, pas cette constante physique : elle ne varie que d'environ 2% dans les deux sens ; ce résultat confirme celui de STROHECKER.

La *chauffe* l'abaisse nettement. Le lait bouilli durant 2 minutes dans un récipient bouché a une conductibilité plus faible : elle passe de 42,4 à 40,8 (10^{-4}) ; cet abaissement est beaucoup plus fort pour le lait écrémé par centrifugation : de 43,2, la conductibilité s'abaisse alors à 39,7 (10^{-4}).

Au cours de la *conservation* la conductibilité du lait subit une augmentation nette à partir du 4^e jour : de 42,4, elle passe à 48,4 (10⁻⁴) ; il en est de même pour le lait écrémé ; toutefois, elle s'abaisse dans ce cas vers le 2^e jour pour remonter, plus fortement encore que pour le lait complet, vers le 4^e jour : de 43,2 elle tombe à 39,7, pour remonter à 50,5 (10⁻⁴).

Nous reviendrons sur ces oscillations en étudiant en détail la gélification du lait.

5. *Concentration en ions H*. Nous n'avons pas étudié systématiquement cette constante : les mesures effectuées confirment les travaux antérieurs : l'acidité réelle du lait varie peu pour le lait complet frais. Dans nos mesures, effectuées par la méthode colorimétrique, les limites de ces variations étaient 6,3-6,6.

Il semble que l'*écrémage* alcalinise légèrement le lait : de 6,4 le *pH* passe à 6,55 ; par contre, l'ébullition l'acidifie légèrement : le *pH* s'abaisse à 6,3. Il est inutile d'insister sur le fait de l'acidification du lait au cours de sa gélification spontanée ; nous donnerons quelques mesures à ce sujet dans le chapitre consacré à la gélification.

6. *Charge électrique*. Pour effectuer cette mesure nous avons eu recours aux deux procédés suivants : transport électrique et analyse électrocapillaire.

Le transport électrique fut fait dans les conditions suivantes : les divers échantillons du lait ont été placés dans un tube en U, dans lequel plongeaient deux électrodes en platine ; on établissait une chute de potentiel de 10 volts (distance entre les électrodes = 15 cm.) : il passait alors un courant de 2,5 mA qui s'élevait à 4,0 mA après 9 heures. Après ce temps, on constatait les faits suivants : la branche connectée au pôle négatif s'est complètement éclaircie, tandis que dans l'autre le lait fut gélifié ; tout se passe donc comme si le complexe colloïdal dans du lait complet, frais, n'ayant subi aucune manipulation, portait une charge négative.

Les résultats de l'analyse électrocapillaire sont différents. Nous avons utilisé pour l'effectuer du papier-filtre « pur chiffon », découpé en bandelettes de 1 cm. de largeur et de 25 cm. de longueur ; elles plongeaient dans des godets en verre contenant les matières colorantes, en concentrations finales de 1 pour 10.000 ; ces matières colorantes furent les suivantes : colloïde électro-négatif — Noir direct W ; colloïde amphotère-Congorubine FF, et colloïde électro-positif-Vert de Janus. Les expériences duraient 24 heures ; la température et le degré hygrométrique furent notés ; expérience-témoin avec de l'eau les accompagnait. Voici ce que l'on a constaté dans ces conditions expérimentales : l'ascension des colloïdes colorés est plus

intense que dans les dispersions aqueuses surtout dans le cas du colloïde électropositif (Vert de Janus) ; ce dernier se concentre à la périphérie, tout comme les colloïdes négatifs ou amphotères. Il faut donc admettre la présence dans du lait des charges électropositives ou bien une dissociation, au cours de l'ascension, d'un complexe colloïdal. Notons que ce résultat est net dans le cas du lait centrifugé, donc débarrassé de sa majeure partie des matières grasses : les dernières forment au cours de l'ascension une barrière infranchissable non seulement aux colorants, mais aussi à l'eau (fig. 1).

Nous avons étudié l'action de la *chauffe* sur cette ascension électro-capillaire : le lait chauffé 3 minutes à 85° C. ou bouilli durant 2 minutes n'est pas beaucoup modifié à ce point de vue ; on note à peine une diminution de l'intensité de la coloration de trois colloïdes, leur niveau d'ascension restant identique (fig. 2). Pourtant, on sait que la *chauffe* affecte l'équilibre colloïdal de ce complexe : d'après LEMANISSIER, son degré de dispersion diminue (ultramicroscopie) ; d'après GROSSER le taux de calcium ionisé s'abaisse de 66% après une ébullition de 5 minutes ; ce calcium disparaît après l'ébullition de 30 minutes.

Par contre, au cours de son *vieillissement* le lait subit des modifications, qui se traduisent par des variations notables de son ascension électro-capillaire. Nous traiterons ce sujet en examinant l'allure physico-chimique de la gélification (fig. 3).

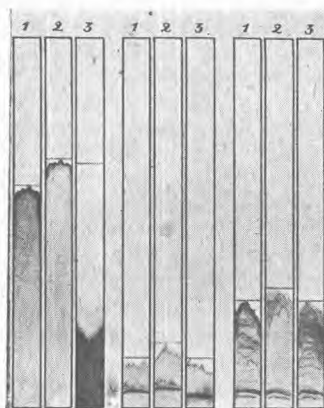
7. *Hydratation micellaire*. L'analyse électro-capillaire permet de se rendre compte du degré d'hydratation des colloïdes lactiques : cela se traduit par les variations de la hauteur d'ascension de l'eau dans les bandelettes de papier-filtre. Ainsi, le *lait complet*, par ses matières grasses formant rapidement une couche superficielle, ne monte pas au delà de la ligne d'émergence. Par contre, dans le *lait écrémé* par centrifugation le liquide intermicellaire monte à une certaine hauteur, mais qui ne représente que la moitié du parcours effectué par les dispersions aqueuses des colloïdes colorants : il faut conclure à la présence dans le lait écrémé des colloïdes hydrophiles.

La *chauffe* diminue légèrement ce degré d'hydrophilie ; au cours du *vieillissement* du lait, il diminue encore davantage ; après la gélification, la totalité des colloïdes hydrophiles du lait disparaît et l'ascension du liquide intermicellaire égale celle des colloïdes témoins (fig. 3).

La *condensation* du lait par la *chauffe* et, surtout, sa dessiccation démontrent que les complexes colloïdaux des laits ainsi traités perdent en partie leur degré d'hydrophilie (fig. 4).

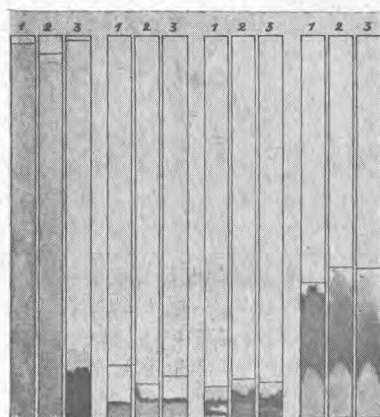
ANALYSE ÉLECTROCAPILLAIRE DU LAIT

Conditions expérimentales : Concentrations finales, 1‰ ; température, 16° C. ; hygroscopie, 86‰ ; 1 : Noir direct W ; 2 : Congorubine FF ; 3 : Vert de Janus.



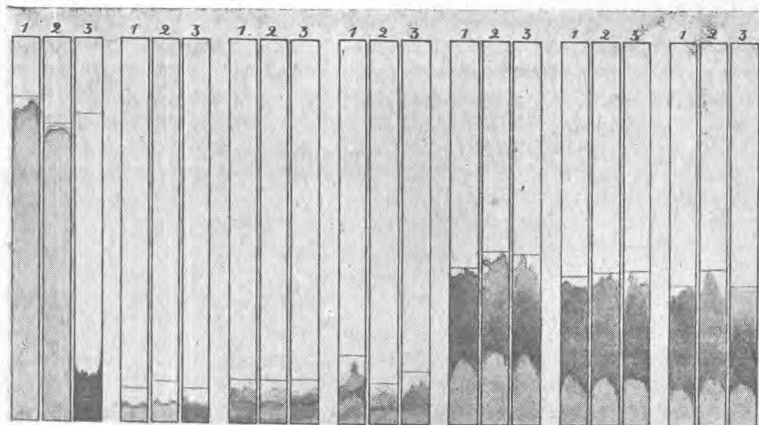
A. B. C.

Fig. 3. *Action du temps* : A — dispersion dans H²O ; B — Lait sec ; C — le même après 96 heures de conservation.



A. B. C. D.

Fig. 1. *Action de l'écrémage* : A — dispersion dans H²O ; B — Lait frais ; C — le même spontanément écréé ; D — le même centrifugé.



A. B. C. D. E. F. G.

Fig. 2. *Action de la chauffe* : A — dispersion dans H²O ; B — lait frais ; C — le même chauffé 3 minutes à 85° C. ; D — le même bouilli 2 minutes ; E — le même (A) centrifugé ; F — le même (E) chauffé 3 minutes à 85° C. ; G — le même bouilli 2 minutes.

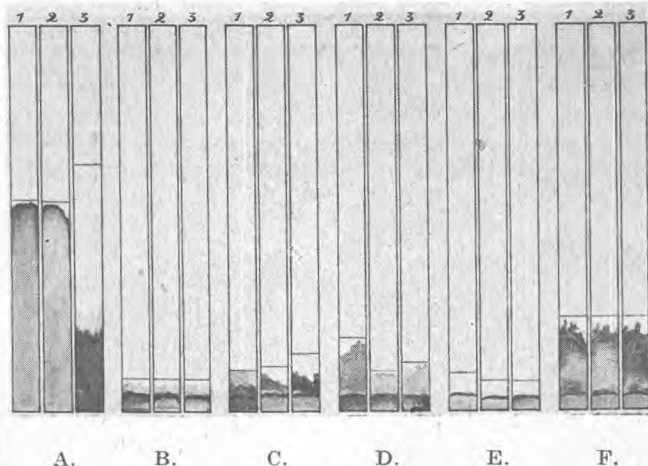


Fig. 4. Les laits industriels : A — dispersion dans H²O ; B — lait frais ; C — lait concentré homogénéisé ; D — lait condensé non sucré ; E — lait condensé sucré ; F — Lait sec.

8. *Pouvoir régulateur.* Nous avons examiné le pouvoir régulateur capillaire (envers les substances tensio-actives) et ionique (envers les sels, les acides et les alcalis).

Voici comment nous avons procédé : une quantité déterminée de lait, complet ou écrémé, fut additionnée de doses croissantes de diverses substances. Pour déterminer le pouvoir régulateur capillaire nous avons employé l'oléate de Na, (« pur en poudre » Pharmacie centrale belge) en concentration initiale de 1% ; l'on mesurait la tension superficielle de mélanges du lait avec le savon.

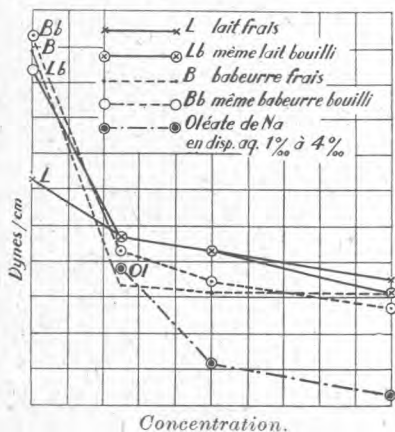


Fig. 5. Pouvoir régulateur capillaire du lait.

Pour examiner le pouvoir-régulateur envers les ions, on ajoutait des quantités croissantes de KCl, en concentration initiale de M/1, et l'on fixait la conductibilité électrique de ces mélanges.

Le pouvoir-régulateur envers les ions H et OH fut fixé par la mesure du pH en introduisant dans du lait des acides (HCl) ou des bases (NaOH) en concentrations initiales de M/1.

Les résultats pour les deux premiers cas sont exprimés par les courbes (fig. 5 et 6) et l'ensemble par les tableaux ci-après :

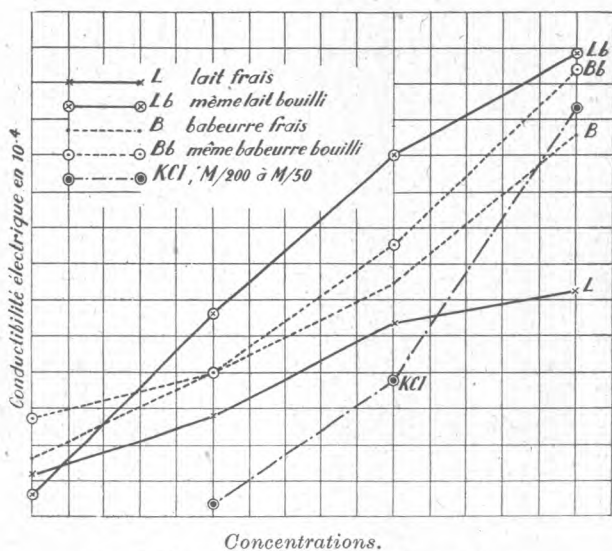


Fig. 6. Pouvoir régulateur ionique du lait.

TABLEAU I
POUVOIR RÉGULATEUR CAPILLAIRE (TENSION SUPERFICIELLE)
DU LAIT ÉCRÉMÉ ET COMPLET

Laits	Pur	Concentration finale d'oléate de Na		
		1‰	2‰	4‰
Ecrémé frais	59,9	46,7	46,3	46,3
Ecrémé bouilli	60,6	48,7	47,1	45,7
Complet frais	52,5	49,5	48,6	47,1
Complet chauffé à 85° C.	52,5	49,4	47,1	—
Complet bouilli	58,7	49,4	48,6	46,3

TABLEAU II
POUVOIR RÉGULATEUR IONIQUE GLOBALE
(CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE EN 10⁻⁴)
DU LAIT COMPLET ET ÉCRÉMÉ

Lait	Pur	KCl en concentration finale		
		M/200	M/100	M/50
Ecrémé frais	43,2	48,0	53,1	61,0
Ecrémé chauffé à 85° C.	42,4	48,0	54,3	62,0
Ecrémé bouilli	45,0	48,0	55,1	64,8
Complet frais	42,4	45,5	50,7	52,5
Complet chauffé à 85°	42,0	48,0	54,3	60,4
Complet bouilli	41,2	51,3	60,0	65,8

TABLEAU III

POUVOIR RÉGULATEUR ENVERS LES IONS H (pH) DU LAIT COMPLET OU ÉCRÉMÉ
(BLEU DE BR-THYMOL)

Lait	Pur	HCl en concentration finale		
		M/80	M/40	M/20
Ecrémé frais	6,60	6,50	6,40	6,20
Ecrémé chauffé à 85° C.	6,55	6,45	6,30	6,10
Ecrémé bouilli	6,50	6,35	6,35	6,00
Complet frais	6,55	6,50	6,40	6,20
Complet chauffé à 85° C. ...	6,45	6,35	6,25	6,05
Complet bouilli	6,45	6,30	6,20	< 6,00

TABLEAU IV

POUVOIR RÉGULATEUR ENVERS LES IONS OH (pH) DU LAIT COMPLET ET ÉCRÉMÉ
(BLEU DE BR-THYMOL)

Lait	Pur	NaOH en concentration finale		
		M/80	M/40	M/20
Ecrémé frais	6,60	6,66	6,80	7,10
Ecrémé chauffé à 85° C.	6,55	6,65	6,85	7,20
Ecrémé bouilli	6,50	6,65	6,95	7,20
Complet frais	6,55	6,60	6,80	7,10
Complet chauffé à 85° C. ...	6,45	6,55	6,80	7,10
Complet bouilli	6,40	6,50	6,85	7,30

On peut tirer de ces résultats les conclusions suivantes :

1° Le lait complet possède un pouvoir régulateur, capillaire et ionique, nettement plus accentué que le lait *écrémé* ;

2° Le lait *bouilli* a un pouvoir régulateur capillaire et ionique fortement diminué.

Lorsqu'on calcule les concentrations de ces diverses substances, on peut dire que l'addition de doses suivantes est sans influence soit sur la tension superficielle, soit sur la conductibilité électrique et le pH du lait complet :

Oléate de Na	1 10.000
KCl	M/350
HCl	M/100
NaOH	M/150

En comparant ces chiffres avec ceux que nous avons fixés pour le

pouvoir régulateur du sérum sanguin, on voit que le lait est analogue à ce point de vue au sérum ; voici les doses tamponnées par le sérum sanguin :

Glycocholate de Na	2/10.000
KCl.....	M/400
HCl.....	M/100
NaOH	M/100

9. *Gélification du lait.* Nous retracerons cette étude dans un chapitre spécial. Notons dès à présent l'influence des divers facteurs sur la rapidité et l'aspect de cette gélification.

Voici quelques chiffres concernant le rôle de l'écémage et de la température :

TABLEAU V

GÉLIFICATION (EN HEURES) DU LAIT COMPLET OU ÉCRÉMÉ ET LA TEMPÉRATURE

Lait	A 10° C.	A 25° C.	Observations
Ecrémé frais	170	24	Synérèse faible après 24 heures
Ecrémé chauffé à 85° C. .	—	26	Synérèse plus forte après 24 h.
Ecrémé bouilli	—	28	Synérèse assez abondante après 24 heures
Complet frais	110	28	Synérèse nulle après 24 heures
Complet chauffé à 85° C. .	—	40	Synérèse nulle après 24 heures.
Complet bouilli	—	—	Synérèse nulle après 24 heures

Nous avons étudié la rapidité de la gélification du lait, dans diverses conditions, par l'acide lactique pur, Codex ; en ajoutant, à 25° C., à 4 cm³ de laits variés 1 goutte de cet acide, voici les résultats :

TABLEAU VI

ACTION DE L'ACIDE LACTIQUE SUR DU LAIT COMPLET OU ÉCRÉMÉ

Lait	Résultats
Ecrémé frais	Floculation fine immédiate avec sédimentation après 24 heures
Ecrémé chauffé à 85° C. .	Coagulation hétérogène ; séparation d'une phase liquide après 24 heures (environ 1/4 du volume)
Ecrémé bouilli	Coagulation hétérogène ; séparation d'une phase liquide après 24 heures (1/2 du volume)
Complet frais	Gélification compacte après 2 heures ; synérèse au 1/10 ^e du volume
Complet chauffé à 85° C.	Coagulation hétérogène avec séparation de 2 phases
Complet bouilli	Coagulation hétérogène avec séparation de 2 phases

Il convient d'insister ici sur la périodicité de cette lactogélification. Voici l'exemple concernant un lait condensé, homogénéisé, complet, de fabrication récente, additionné d'acide lactique :

Concentration finale d'acide	Temps et aspect de la gélification à 10° C.
1/1600	Floculation fine
1/800	Gel en 5 jours
1/400	Gel en 4 jours
1/200	Gel instantané avec synérèse rapide, abondante
1/100	Gel instantané avec synérèse rapide, abondante
2/100	Gel instantané avec synérèse rapide, abondante
4/100	Coagulation hétérogène en 15 minutes avec séparation des deux phases

Nous comparerons ces résultats avec ceux obtenus avec des laits industriels.

TABLEAU VII
CARACTÈRES PHYSICO-CHIMIQUES DES LAITS INDUSTRIELS A 15° C.

	Complet frais	Homogénéisé concentré	Concentré non sucré	Concentré sucré	Desséché
Tension superficielle .. (dynes/cm.)	50,6-54,2	56,5	51,2-53,4	41,9-46,4	55,4-56,7
Viscosité spécifique ...	1,6-2,4	2,2	3,01-3,47	—	1,6-2,1
Conductibilité électrique (10 ⁻⁴)....	42,0-47,4	73,6	38,7-42,8	22,4-24,5	36,8-39,4
pH.....	6,3-6,6	6,0	5,8	5,8-6,4	5,8-6,3
Pouvoir régulateur ca- pillaire	1/10.000	—	1/60.000	—	1/70.000
Pouvoir régulateur KCl	M/350	—	M/450	—	M/400
Pouvoir régulateur H ..	M/100	—	M/150	—	M/160
Pouvoir régulateur OH.	M/150	—	M/350	—	M/375
Gélification spontanée à 25° C. (heures)	26	—	20	36	40
Gélification spontanée à 10° C. (jours)	5,0	10,5	8,5	9,0	7,0
Lactogélification (II gouttes + 2 cm lait ; heures)	instantanée	—	0,1-3,0	instantanée	0,1-7,0
Degré d'hydratation micellaire	—	abaissement faible	abaissement fort	—	abaissement très fort

10. *Caractères physico-chimiques des laits industriels.* Nous résumerons ces résultats sous forme d'un tableau d'ensemble ; ils furent obtenus avec des laits concentrés, d'origine variée (suisse, américaine, anglaise, suédoise et française) sucré ou non, en poudre (complet ou écrémé) ; on les dispersait dans de l'eau distillée de façon à obtenir des liquides de densité correspondant à celle d'un lait normal (1,031 à 15° C.), sauf pour le lait sucré où elle fut élevée à 1,094.

On voit, par conséquent, que les opérations destinées à concentrer le lait ou à le dessécher ont comme résultats de modifier profondément ses caractères physico-chimiques.

Notons cependant que ces caractères subissent des variations selon l'origine et la marque des laits étudiés, ce qui correspond, du reste, aux variations de leur composition chimique sur lesquelles THIEULIN a récemment insisté.

C. Conclusions

1. *Caractères physico-chimiques du lait.* Nos recherches personnelles ainsi que celles de nos devanciers permettent de fixer comme suit ces caractères à 15° C. :

Densité	1.029-1.033
Abaissement du point de congélation	—0°550—0°560
Indice réfractométrique	1,3450- 1,3470
Conductibilité électrique en 10 ⁻⁴	42,0 -47,4
pH	6,5 - 6,6
Tension superficielle (dynes/cm.)	50,6 -54,2
Viscosité spécifique	1,6 - 2,4

Ces caractères subissent des variations notables sous l'influence des divers facteurs tels que l'écrémage, l'agitation, la chauffe, l'homogénéisation, etc.

2. *Les caractères colloïdaux du lait.* L'étude du transport électrique et l'analyse électrocapillaire font penser que dans du lait on est en présence des complexes électropositifs prédominants, mais qu'il se produise probablement, sous l'influence soit du courant, soit au cours de la pénétration électrocapillaire, une scission de certains autres complexes donnant lieu à la naissance des charges électriques négatifs : on constate que l'intensité du courant qui passe à la fin de l'expérience de transport électrique est notablement plus élevée. Ces faits constituent une analogie de plus avec du sérum sanguin : nous avons, en effet, démontré en 1920 que de telles cons-

tatations peuvent être faites sur ce liquide biologique au cours de passage du courant.

Le lait se *gélifie* instantanément sous l'influence de l'acide lactique en concentration finale de 0,5 à 2,0%.

Le lait possède un *pouvoir régulateur* notable, aussi bien au point de vue capillaire que ionique : l'addition de certaines doses, soit de substances tensioactives, soit des sels, des acides, ou des bases, reste sans influence sur sa tension superficielle ou bien sur sa conductibilité électrique et sur son *pH*. Ces pouvoirs régulateurs sont analogues à ceux que nous avons fixés pour le sérum sanguin.

Le lait contient des complexes colloïdaux *hydrophiles*.

Les caractères colloïdaux du lait subissent de modifications notables sous l'influence des divers facteurs.

Ainsi les charges électriques positives disparaissent au cours de la *gélification* du lait : dans du petit-lait il n'y a que des charges électro-négatives, coïncidant avec la disparition des colloïdes hydrophiles.

Le petit-lait ne se *gélifie* plus par l'acide lactique.

Le pouvoir régulateur tend également à disparaître dans du petit-lait.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] W. KOPACZEWSKI. *Bull. Soc. Chim. biol.*, t. VII, 1925, p. 419.
- [2] W. KOPACZEWSKI. *C. R. Acad. Sc.*, t. CXCVIII, 1934, p. 1271 et 1947 ;
C. R. Soc. Biol., t. CXVI, 1934, p. 869.
- [3] W. KOPACZEWSKI. *C. R. Acad. Sc.*, t. CC, 1935, p. 226, 418 et 975.
- [4] W. KOPACZEWSKI. *C. R. Acad. Sc.*, t. CXCVIII, 1934, p. 2282.
- [5] W. KOPACZEWSKI et R. PAILLE. *C. R. Acad. Sc.*, t. CCIV, 1937, p. 726.
- [6] W. KOPACZEWSKI. *Le Lait*, t. XVI, 1936, p. 356.
- [7] W. KOPACZEWSKI. *Bull. Soc. Sc. nat. Maroc*, t. XXIII, 1943, p. 21.
W. KOPACZEWSKI et J. GAUD. *Bull. Inst. Hygiène Maroc*, t. IV, 1944,
p. 29.
- [8] W. KOPACZEWSKI. *Bull. Soc. Chim. biol.*, t. XXVIII, 1946, *passim*.
- [9] W. KOPACZEWSKI. *Bull. Soc. Sc. nat. Maroc*, t. XXIII, 1943, p. 24.
- [10] W. KOPACZEWSKI. *Etat colloïdal et Industrie*, Paris, 1925, p. 132. Béran-
ger, édit.
- [11] W. KOPACZEWSKI. *Traité de Biocolloïdologie*, t. V, 1938, p. 201. Gauthier-
Villars, édit.