MODIFICATIONS PHYSICO-CHIMIQUES DES CONSTITUANTS DU LAIT AU COURS DE LA CONCENTRATION EN PRÉSENCE DE SIROP DE SUCRE

par

MICHEL POLONOVSKI

La grande diffusion du lait concentré sucré dans l'alimentation actuelle des nourrissons avait déjà permis, par de simples constatations statistiques, d'affirmer que le lait condensé provoque moins de diarrhées cholériformes que le lait ordinaire et nombre de puériculteurs le considèrent même comme supérieur au meilleur lait de vache frais. D'une étude suivie et détaillée que nous avons publiée avec P. GELLÉ l'an dernier (1) nous concluons qu'il existe réellement entre le lait condensé sucré et le lait de vache sucré au même taux une différence notable de digestibilité. En effet :

1^o Les nourrissons ne peuvent supporter, additionnée au lait frais, une dose de sucre égale à celle qu'il digère sous forme de lait concentré sucré, sans présenter des phénomènes d'intolérance (vomissements, diarrhée).

2^o Dès la fin du troisième mois et surtout après le sixième, l'augmentation de poids des enfants devient nettement plus importante lorsqu'ils sont nourris au lait condensé sucré (2).

Ces résultats diététiques demandaient une explication rationnelle : quelle modification heureuse la concentration du lait, en présence de sirop de sucre, pouvait-elle imprimer aux constituants de cet aliment primordial pour influencer ainsi sur sa digestibilité ?

Nous avons essayé de préciser la cause de ces variations et à cet effet nous avons étudié comparativement la tension superficielle, le pouvoir-tampon, la viscosité et enfin la floculabilité des différents laits. Il nous a semblé intéressant de suivre un même lait au cours de la concentration, afin de pouvoir observer l'influence de cette opération. Aussi avons-nous effectué les déterminations sur la série des laits suivants : lait frais, lait pasteurisé, lait pasteurisé + sucre, lait en fin d'admission dans les appareils de concentration dans le vide, lait en cours de condensation, lait en fin de condensation (2).

A. Essais préliminaires.

1^o Conditions à réaliser pour que les résultats soient comparables entre eux.

(1) De l'emploi comparé du lait concentré sucré et du lait de vache frais dans l'alimentation du nourrisson. *Echo médical du Nord* (3), t. V, 1936, p. 805-819.

(2) Les essais ont été faits, comme d'ailleurs tout le travail expérimental que nous publions aujourd'hui, avec le lait concentré sucré que la Société Nestlé a eu l'obligeance de mettre gracieusement à notre disposition.

La première condition pour obtenir des résultats comparables est de ramener les composants des différents laits à une concentration voisine de celle qu'ils ont dans le lait ordinaire, exception faite pour le saccharose. Nous avons forcément dû choisir comme lait de base un de ceux que l'addition de sucre avait déjà dilué ; nous avons donné la préférence au *lait pasteurisé sucré*, la pasteurisation ne modifiant pas sensiblement la concentration. D'autre part, le lait frais et le lait pasteurisé simple ont également dû être étudiés après addition d'une quantité de sucre égale à celle qui est utilisée dans la fabrication du lait concentré.

Enfin, les mesures ont été pratiquées dès l'arrivée des échantillons au laboratoire, l'ouverture des boîtes précédant immédiatement la dilution et la mise en route des expériences.

2° Détermination des taux de concentration.

Nous avons pris comme référence les éléments dont les variations sont uniquement imputables à la concentration et qui ne peuvent pas subir de modifications sous les influences extérieures. L'azote total et les matières réductrices totales ont retenu notre attention. Nous avons utilisé pour le premier la méthode de Kjeldahl, pour les secondes la méthode d'oxydation sulfochromique (indice chromique de Polonovski).

TABLEAU I.

	N total en grammes par litre	Indice chromique total	Concentration par rapport au témoin 3, calculé d'après le taux N
1. Lait frais	4,48	67	1,23
2. Lait pasteurisé	4,48	73	1,23
3. Lait pasteurisé + sucre . . .	3,64	251	1
4. Lait fin d'admission	12,46	852	3,4
5. Lait en cours de condensation	12,74	900	3,5
6. Lait en fin de condensation	17,01	1.000	4,6

Le tableau nous montre que la pasteurisation simple ne modifie pas sensiblement la concentration, puisque la teneur en azote est identique dans les laits frais et pasteurisé. Le lait pasteurisé sucré est au contraire plus dilué, ce qui s'explique par l'addition de saccharose sous forme de sirop, et ce qui justifie notre choix de ce lait comme étalon de concentration. D'autre part, les résultats donnés par la mesure de l'indice chromique total concordent assez bien avec les dosages d'azote, tout en restant dans l'ensemble légèrement inférieurs. La pasteurisation n'influe pas non plus d'une façon notable sur le taux des matières réductrices. L'oxydation

intégrale du saccharose explique la brusque augmentation de l'indice à partir du lait n° 3.

3° *Quantité de saccharose à ajouter au lait frais.*

Il était possible de la déterminer en dosant dans le lait pasteurisé sucré les sucres réducteurs avant et après hydrolyse, par la méthode de Bertrand ou celle de Baudouin. Nous avons écarté ce procédé, car l'ébullition, au cours du premier dosage, peut, dans une certaine mesure, hydrolyser le saccharose, ce qui donne une erreur par défaut dans le résultat final.

Aussi avons-nous préféré la méthode suivante : on mesure la déviation polarimétrique A donnée par le lait pasteurisé simple, puis celle du lait pasteurisé sucré ; on corrige ensuite celle-ci en la multipliant par l'inverse du rapport des concentrations en azote : soit B la valeur de la seconde déviation ainsi obtenue. La différence B-A indique la déviation due au saccharose, rapportée au lait pasteurisé, et par suite la quantité de sucre ajoutée à ce lait.

Le résultat de ce calcul pour notre lait fut le suivant :

$$A = 23^{\circ}27 \quad B = 5^{\circ}50.$$

A-B = $17^{\circ}37$, ce qui correspond à 132 gr. 4 de saccharose par litre.

B. Viscosités.

Les mesures ont été faites au viscosimètre Beaumé ; nous avons opéré à la température ordinaire pour éviter l'influence possible de la chaleur sur les composants du lait. Dans tous les cas nous avons vérifié les résultats en déterminant la vitesse d'écoulement au moyen d'un stalagmomètre.

TABLEAU II.

Température 17-18°	Fluidité Barbey	Viscosité Engler	Vitesse d'écoulement (nombre de gouttes par minute)
Lait frais	2.677	1,061	90
Lait pasteurisé	2.417	1,076	86
Lait frais + sucre solide	1.644	1,133	78
Lait frais + sol. de sucre	2.018	1,147	84
Lait fin d'admission	2.055	1,107	—
Lait en cours de condensation	1.500	1,105	72
Lait fin de cuite	1.550	1,168	73

C. Tension superficielle.

Nous avons utilisé la méthode suivante : Quand dans un tube étroit d'ouverture donnée (3 à 4 mm.), les gouttes qui se forment à l'extrémité sont soumises à une pression constante, la tension superficielle appliquée à la goutte qui se détache, tension qui

contrebalance le poids de la goutte, est liée à ce dernier par la relation

$$P = K. 2 \pi. Ar$$

ou, en posant $K. 2 \pi. r = K'$

$$P = K' T$$

Connaissant T , tension superficielle de l'eau à 20° (72,8), on étalonne l'appareil avec l'eau, et on connaît ainsi la constante K .

Voici les résultats de nos mesures :

Température 18°	Premier essai	Deuxième essai (sur un autre lot de boîtes)
Lait frais	51,33	51,62
Lait pasteurisé	53,15	53,72
Lait frais + sucre	56,12	
Lait pasteurisé + sucre	55,47	55,98
Lait fin d'admission	55,35	55,66
Lait en cours de condensation	56,36	56,46
Lait fin de condensation	56,33	56,40

D. Pouvoir-tampon.

Nous avons exprimé le pouvoir-tampon par la quantité d'acide normal qu'il faut ajouter à *un litre* de lait pour passer du virage de la phénolphtaléine (pH 8,5) au virage de l'hélianthine (pH 4,5).

	Quantité de NaOH N/50 nécessaire pour atteindre le virage de la phénolphtaléine (Sur 2 cm ³ de lait)	Quantité de SO ⁴ H ² N/50 nécessaire pour revenir au virage de l'hélianthine	Pouvoir- tampon
Lait frais + sol. de sucre ...	3 cm ³ 20	10 cm ³ 40	104
Lait pasteurisé + sol. de sucre	4,85	10,70	107
Lait fin d'admission	1,25	8,25	82,5
Lait en cours de condensa- tion	1,40	10	100
Lait fin de cuite	1,50	10,15	101,5

Deuxième lait :

	(NaOH N/10)	(HCl N/10)	Pouvoir- tampon
	(Pour 5 cm ³)		
Lait frais	0,65	5,25	105
Lait pasteurisé	0,60	5,85	117
Lait pasteurisé + sol. de sucre ..	0,65	5,90	118
Lait pasteurisé + sucre solide ..	0,60	5,80	116
Lait fin d'admission	0,50	4,75	95
Lait en cours de condensation ..	0,55	4,85	97
Lait fin de cuite	0,65	5,90	118

E. Flocculabilité.

1^o pH critiques, zones de floculation.

Nous avons mesuré le pH colorimétriquement dans le lactosérum, après filtration de la caséine. Nous n'avons retenu dans les séries de tubes que ceux dans lesquels la coagulation était totale de façon à éviter l'erreur due à l'adsorption du colorant par la caséine restante. Il en résulte que les zones de floculation ainsi déterminées paraissent un peu plus étroites qu'elles ne sont en réalité ; mais ce qui importe, c'est que l'allure générale se conserve et que les résultats restent comparables entre eux.

Les laits ont été préalablement additionnés d'eau distillée neutre, de façon à rendre la floculation plus visible. L'acide utilisé a été l'acide chlorhydrique N/10.

Nous devons d'abord rappeler une série de remarques qui nous paraissent indispensables à la compréhension et à l'interprétation des résultats précédents et de ceux qui suivront.

a) Si on ajoute au lait une faible quantité d'acide de telle sorte que son pH diminue, mais reste toutefois plus grand que 5,3, il n'y a pas de floculation immédiate.

b) Si on ajoute en une seule fois, brusquement, une quantité d'acide telle que le pH tombe au-dessous de 4 : la floculation ne se produit pas non plus.

c) Si on ajoute l'acide goutte à goutte, on obtient, en dessous de pH 5,3, une floculation instantanée, très nette, le précipité se rassemblant rapidement au fond du tube. Cette précipitation immédiate se produit dans une zone de pH limitée par deux pH critiques, indiqués pour les différents laits dans le tableau suivant. Entre les deux pH critiques se trouve un pH optimum, pour lequel la vitesse de sédimentation de la caséine est la plus grande, c'est-à-dire où la floculation est la meilleure.

	Limite inférieure de la zone de floculation	Limite supérieure
Lait frais	4,2	5,3
Lait + sirop de sucre	4,1	5,0
Lait + sucre solide	4,4	5,25
Lait pasteurisé	3,95	5,0
Lait pasteurisé + sirop de sucre ...	4,0	4,8
Lait fin d'admission	4,25	5,0
Lait en cours de condensation	4,0	4,7
Lait fin de cuite	3,95	4,65

d) Si l'on augmente la quantité d'acide, on remarque qu'en-dessous du pH critique inférieur, les grains de caséine deviennent de plus en plus fins, et que, finalement, la caséine se met en suspen-

sion. Cette suspension n'est d'ailleurs pas stable ; si le tube reste abandonné à lui-même, la caséine se dépose de nouveau, le liquide surnageant restant trouble. Si le contact de la caséine et de l'acide dans la zone de floculation a été prolongé, la vitesse de sédimentation est très augmentée (30' au lieu de 65'), mais la vitesse reste toujours très inférieure à celle que l'on observe dans la zone de floculation.

2° Floculation en présence de lab-ferment.

La floculation sous l'influence de la présure a tout d'abord été étudiée à la température de 37°, à pH voisin de 3,0. L'acide chlorhydrique nécessaire pour obtenir ce pH était naturellement ajouté en une seule fois pour éviter la coagulation immédiate, ainsi que nous l'avons signalé dans le paragraphe précédent.

Temps nécessaire à la floculation
complète en minutes

Lait frais	10
Lait frais + sucre solide	15
Lait frais + sirop de sucre	20
Lait pasteurisé	30
Lait pasteurisé + sucre solide	35
Lait pasteurisé + sirop de sucre	45
Lait concentré sucré	45

Nous avons ensuite fait agir le lab-ferment dans des milieux d'acidité différente, le pH de 3,0 qui était celui des déterminations précédentes, n'étant réalisé physiologiquement que par le mélange d'un faible volume de lait et par une grosse quantité de liquide gastrique.

Nous avons fait une série de mesures sans addition d'acide (pH voisin de 7), puis en présence de 0 cm³ 25 et de 0 cm³ 15 de HCl N/10.

Temps nécessaire à la floculation
(en minutes)

Présure
+ HCl N/10

	0	0 cm ³ 15	0 cm ³ 25
Lait frais	55	50	50
Lait pasteurisé	60	80	70
Lait pasteurisé + solution de sucre	65	88	90
Lait pasteurisé + sucre solide	70	88	100
Lait concentré	90	108	105

3° Relation entre la floculabilité, la viscosité et la tension superficielle.

Il nous a semblé intéressant de vérifier si les différences observées entre les floculabilités des laits n'étaient pas en rapport avec les variations de la viscosité et de la tension superficielle.

Nous avons tout d'abord modifié la viscosité des laits par l'addi-

tion de sirop de gomme du codex : gomme blanche, 100 gr. ; sucre blanc, 560 gr. ; eau distillée, 340 grammes.

Le tableau suivant donne les résultats obtenus par ce procédé.

	Viscosité à 18°	Variation en %
Lait pur	1,083	
Lait + 10 % sirop de gomme	1,140	+ 5,2
Lait + 20 % sirop de gomme	1,201	+ 11
Lait + 18 % sirop de gomme	1,190	+ 10

Pour abaisser la tension superficielle, nous avons utilisé une solution saturée à 18° de sels biliars.

	Tension superficielle à 20°	Variation en %
Lait pur	44,32	
Lait pur + 2 % sol. sels biliars ...	43,74	— 1,3
Lait pur + 4 % sol. sels biliars ...	38,65	— 12,77

Nous avons étudié comparativement la floculabilité des laits frais et pasteurisés sous l'influence de la présure en milieu acide (pH voisin de 3,0) et à 37°, avant et après addition d'une part de sirop de gomme et d'autre part de sels biliars.

	Lait frais	Temps en minutes sol. + 4 % de sol. de sels biliars	Sol. + 25 % de sirop de gomme.
1 ^{er} essai	10	5	15
2 ^e essai	10	5	15
3 ^e essai	10	5	15
4 ^e essai	10	5	15

	Lait frais	Lait pasteurisé	Lait pasteurisé + 25 % sp de gomme
1 ^{er} essai	5	30	60
2 ^e essai	5	30	60
3 ^e essai	5	30	65

Lait frais	sol. + 25 % sirop de gomme	Lait pasteurisé	Sol. + 25 % sirop gomme
10	15	30	60

Lait frais	Sol. + sirop de sucre	Lait pasteurisé	Sol. + sirop sucre
10	20	30	45

La floculabilité varie donc en sens inverse à la fois de la tension superficielle et de la viscosité. Ainsi qu'il ressort des deux dernières séries de chiffres, la diminution de la floculabilité est du même ordre

lorsqu'on remplace le sirop de gomme par du sirop simple ; cela s'explique aisément par les variations presque identiques de la viscosité observée dans les deux cas.

F. Interprétation des résultats.

Nous pouvons résumer de la façon suivante l'ensemble des résultats que nous avons obtenus. Par rapport au lait pasteurisé additionné de sirop de sucre, — lait dont il est le plus voisin par la composition et les opérations subies —, le lait concentré sucré présente une viscosité et une tension superficielle augmentées, et une floculabilité diminuée, le pouvoir-tampon ne subissant qu'une variation faible, d'ailleurs inconstante. Ces différences s'accroissent naturellement quand on compare le lait concentré au lait frais dont il dérive.

Il est difficile d'établir un lien direct entre toutes les modifications observées et la meilleure utilisation du lait chez le nourrisson. Il est cependant intéressant de considérer plus particulièrement la floculabilité par la présure en milieu acide. L'influence de la coagulation du lait sur sa digestion est un fait bien connu ; un lait qui se coagule rapidement en formant dans l'estomac un caillot massif, comme le lait de vache pris en grande quantité, est beaucoup moins toléré qu'un lait dont la coagulation se ferait plus lentement et aboutirait à la formation d'un grand nombre de petits caillots. L'action du suc gastrique est naturellement très facilitée dans ce dernier cas, et l'évacuation gastrique elle-même doit se faire différemment. On pourra nous objecter que la floculabilité du lait concentré n'est que peu retardée par rapport à celle du lait pasteurisé sucré, qu'il ne s'agit que de quelques minutes. A cela nous répondons que, quoique nos mesures aient été faites dans des conditions qui s'éloignent plus ou moins des conditions physiologiques, nous avons cependant, dans tous les cas, observé une différence dans le même sens, et que l'écart a été d'autant plus grand que nous nous rapprochions davantage de ce qui se trouve réalisé dans le milieu stomacal.

L'influence de la viscosité et de la tension superficielle nous paraît être plutôt indirecte ; ces constantes physiques n'interviennent très probablement que dans la mesure où elle modifie la floculabilité. Les chiffres montrent d'ailleurs que les variations de celle-ci ne peuvent s'expliquer uniquement par celles des deux premières.

Il nous semble en définitive plus sage de considérer les modifications moins en elles-mêmes qu'en ce qu'elles constituent des manifestations de changements plus profonds que ceux que nos premières investigations pouvaient déceler. Il est certain que les opérations

de concentration du lait en présence d'une grosse quantité de sucre ne laissent pas intacts ses constituants, et plus spécialement les substances protidiques. Nos résultats n'ont aucune prétention à avoir déjà résolu ce problème, trop heureux si nous avons, en soulevant un coin du voile, jeté sur lui quelque clarté.

ACTINISATION DU LAIT

par

JEAN VIEILLY

et

JEAN HARDER

Docteur-Vétérinaire, Industriel laitier,
Grenoble.

Ingénieur Agronome E. P. Z.,
Chef d'exploitation de la Laiterie Moderne,
Grenoble.

(Fin.)

Donnons maintenant un aperçu des quelques observations faites au cours de nos essais sur les laits actinisés.

I. ACTION DE L'ACTINISATION SUR LES LAITS

L'actinisation n'altère pas l'aspect extérieur du lait. Aucune transformation n'est visible, aucune différenciation à ce sujet avec le lait cru, aussi bien de suite après l'actinisation qu'après un temps plus ou moins long.

L'examen organoleptique ne décèle aucun goût d'huile, et, de l'avis de tous ceux qui ont goûté ce lait, en comparaison avec du lait cru, en ignorant lequel était le lait actinisé, ce dernier fut toujours trouvé plus savoureux, plus sucré. Est-ce la raison pour laquelle les enfants le boivent plus facilement, et aussi le supportent mieux ? Nous en avons eu la preuve en faisant des essais sur un groupe d'enfants. Parmi ceux-ci se trouvait un hérédosyphilitique, type dont l'état était stationnaire et végétatif depuis plusieurs mois, et qui ne pouvait garder aucun lait. Le lait actinisé fut très bien accepté dès la première fois, et, après quinze jours, une amélioration sensible était visible, reprise de poids, air plus éveillé, joues colorées, etc.

Mais revenons à l'influence de l'actinisation sur le lait. La montée de la crème est la même que dans le lait cru. Quant à l'acidité, l'actinisation ne paraît pas devoir l'influencer. A ce sujet nous exprimerons toujours l'acidité en grammes par litre. Complètement d'accord sur ce point avec le Professeur A. MONVOISIN, il nous paraît plus logique, la densité et la matière grasse s'exprimant en grammes, d'employer la même unité pour l'acidité.

Si l'actinisation n'a pas d'influence quantitative sur l'acidité, elle en a une qualitative par contre, et sur laquelle nous reviendrons.

J. PROKS (*Le Lait*, mars 1933, page 336), au cours des essais faits