

Utilisation des laits préempresurés secs comme agents de coagulation

par

T. AFTAN*, M. BENNASAR*
et B. TARODO DE LA FUENTE*

I. INTRODUCTION

Utilisée depuis l'antiquité pour la fabrication de fromages variés, la présure (chymosine E-C-3-4-2-3-4) donne lieu actuellement à de nombreuses recherches de succédanés en vue de son remplacement étant donné son prix relativement élevé et certaines difficultés d'approvisionnement [10, 2, 15, 12].

De plus, le lactosérum, dérivé des industries fromagères et de la caséine, est un produit que l'on cherche à récupérer à cause de sa composition d'une part et de son pouvoir polluant d'autre part [20, 16, 8].

Ces problèmes nous ont conduits à étudier le remplacement de la présure en fromagerie par un lait sec fabriqué à partir de lait emprésuré à basse température pendant un temps suffisant pour que s'accomplisse la phase primaire de l'action de la présure. Ce lait sera désigné dans les pages qui suivent sous le nom de « lait préempresuré sec ».

La fabrication de cette poudre est rendue possible par la différence importante qui existe entre les coefficients de température des phases primaire et secondaire de la coagulation enzymatique du lait. En effet, pour des températures inférieures ou égales à 10° C la phase de coagulation n'a pas lieu même si la réaction spécifique de la présure est achevée [4, 5, 13]. Il est alors possible de sécher ce lait par atomisation sans qu'il y ait floculation des caséines et la poudre obtenue peut conduire à un lait reconstitué qui coagule par simple réchauffement, brevet MMV [14]. Cette poudre peut aussi être utilisée comme agent de coagulation grâce à l'activité coagu-

* Laboratoire de Technologie Alimentaire, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, place E.-Bataillon - 34060 Montpellier cedex.

lante résiduelle de la présure qu'elle contient et au fait qu'elle provient d'un lait qui a subi la réaction enzymatique primaire [7, 11, 9].

Cette utilisation permet de réaliser une économie de présure d'autant que l'on peut préempresurer du lait concentré qui nécessite moins d'enzyme qu'un lait normal [17]. Il est également possible, en utilisant une quantité minimale d'eau ou de lait pour la reconstitution, d'obtenir la formation rapide d'un caillé sans égouttage qui conduit par conséquent à un rendement maximal du fait de la suppression des pertes dans le sérum et qui présente un intérêt évident sur le plan de la pollution.

Nous présentons ici les résultats que nous avons obtenus en étudiant le séchage des laits préempresurés à basse température, les activités enzymatiques des poudres fabriquées et leur utilisation en tant qu'agents de coagulation.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Produits

a) *Présure* : les essais de coagulation ont été conduits à l'aide de solutions à 3 et 5 p. 100 d'une présure animale en poudre (Maret) de force initiale 235 UP/g dans un tampon phosphate à pH 6,95 [3].

b) *Lait* : nous avons utilisé deux types de lait pour fabriquer nos échantillons :

1. Lait de mélange écrémé, pasteurisé à 73° C pendant 20 s.
2. Lait précédent concentré deux fois par évaporation sous vide à 40° C.

Ces deux laits, notés respectivement LN et LEV, emprésurés à 10° C avec une même quantité de présure (0,15 p. 100 de la solution enzymatique à 3 p. 100) seront séchés dans les mêmes conditions et conduiront à des poudres appelées PN et PEV. Pour certaines expériences, nous avons utilisé les abréviations LN1, LN2, etc. et LEV1, LEV2, etc., en fonction des différents taux d'enrichissement en calcium et d'emprésurage et les abréviations PN1, PN2, etc. et PEV1, PEV2, etc., pour les laits préempresurés secs correspondants.

c) Pour les essais d'emprésurage et de coagulation le lait de fabrication standard utilisé a été obtenu à partir d'une poudre de lait écrémé Spray de qualité fromagère. Dans tous les cas, le lait a été reconstitué à 10 p. 100.

2.2. Méthodes analytiques

• *pH et acidité* : le pH a été mesuré à l'aide d'un pH mètre Métroh m E 300 B et l'acidité exprimée en degrés Dornic.

• *Calcium* : le calcium est dosé par spectrophotométrie d'absorption atomique (Varian - Techtron - AA6) suivant le protocole de Brulé-Maubois-Fauquant, 1974 [6].

• *Azote* : l'azote est déterminé par micro analyse Kjeldahl d'après la méthode décrite par Alais [1].

• *Matière sèche* : la matière sèche est déterminée par dessiccation à l'étuve à $103 \pm 2^\circ \text{C}$ jusqu'à poids constant.

• *Solubilité* : la solubilité des laits préempresurés secs est mesurée d'après la méthode de l'ADMI modifiée pour éviter la coagulation du lait au cours de la reconstitution en effectuant la manipulation à 0°C [17].

• *Temps de floculation* : le temps de floculation est mesuré par la méthode de Sommer et Matsen [18]. Quand les laits préempresurés secs sont utilisés comme agents de coagulation, ils sont reconstitués et maintenus à 10°C avant d'être mélangés avec le substrat pour éviter leur coagulation trop précoce.

• *Activité enzymatique résiduelle* : l'activité résiduelle de l'enzyme contenu dans les laits préempresurés secs a été déterminée par étude de la libération des substances azotées non protéiques (NPN) dans un lait reconstitué à partir de poudre de lait de qualité fromagerie. Nous avons utilisé comme source d'enzyme :

a) Une solution de présure à 3 p. 100.

b) Des volumes de laits reconstitués à 10 p. 100 à partir de laits préempresurés secs contenant des quantités équivalentes d'enzyme.

La manipulation est effectuée à 10°C pour éviter la coagulation des laits préempresurés secs après reconstitution.

Nous avons évalué l'activité résiduelle en mesurant l'angle fait par la courbe de libération du NPN avec l'axe des abscisses pour les différentes solutions enzymatiques. L'activité enzymatique résiduelle est alors exprimée en pourcentage par rapport à la courbe correspondant à la présure seule prise comme référence.

• *Evolution des propriétés mécaniques du coagulum* : l'évolution des propriétés mécaniques du coagulum est mesurée par la méthode thrombélastographique à l'aide d'un appareil Hellige - Type C modifié [19], maintenu à 4°C .

Sur les diagrammes thrombélastographiques, le paramètre (r), exprimé en minutes et secondes, représente le temps écoulé entre le début du réchauffement de la cuve et de son contenu et le moment de la floculation, et le paramètre (k), exprimé également en minutes et secondes, correspond au temps nécessaire pour que le caillé acquière des propriétés mécaniques telles que l'écartement des deux branches du tracé soit de 20 mm. Ce dernier paramètre représente donc la vitesse avec laquelle se forme et se raffermie le caillé.

• *Fermeté* : l'indice de fermeté (IF) du caillé est mesuré par un pénétromètre automatique Herzog avec contrôle électronique du corps plongeant. Nous avons utilisé un corps plongeant conique d'un poids de 21,133 g, de diamètre de base 40 mm et de hauteur 25 mm.

2.3. Procédés technologiques

Le lait est écrémé dans une centrifugeuse Westfalia Separator - Type SAOH 205 tournant à une vitesse de 10 000 t/min, et pasteurisé 20 s à 73° C dans un pasteurisateur à plaques APV Type Junior. Il est concentré dans un évaporateur à plaques APV Junior chauffé par la vapeur à la température de 65° C, la température du produit ne dépassant pas 40° C. Le séchage des laits est effectué dans une tour d'atomisation de laboratoire Anhydro à différentes températures.

III. RESULTATS

3.1. Fabrication des laits préempresurés secs

Nous avons utilisé les conditions opératoires indiquées dans le tableau 1. Elles nous ont permis d'étudier d'une part l'influence des différentes températures de séchage sur les propriétés physiques des poudres et l'activité résiduelle de l'enzyme et, d'autre part, les effets des teneurs en calcium et en présure sur les temps de floculation et de coagulation des caséines et sur le pouvoir coagulant des laits préempresurés secs. La température d'empresurage de 10° C est la plus élevée que l'on puisse utiliser sans risque de floculation des caséines avant ou pendant le séchage [17]. Les quantités de présure ajoutées ont été majorées par rapport à celles utilisées normalement afin de réduire le temps des essais en laboratoire.

3.2. Propriétés des laits préempresurés secs

• *Humidité et solubilité* : les effets de la concentration des laits de fabrication et des températures de séchage sur ces propriétés sont indiqués dans le tableau 2 pour les poudres PN et PEV. L'augmentation de la concentration entraîne une diminution de l'humidité et une augmentation de la solubilité des poudres. L'influence des températures de séchage est plus délicate à interpréter car leur écart varie avec le débit d'alimentation en produit. De plus, elles jouent sur l'activité enzymatique résiduelle des poudres. Leur choix doit donc faire intervenir à la fois les trois paramètres suivants : humidité, solubilité et activité enzymatique résiduelle.

TABLEAU 1

Conditions de fabrication des laits préempresurés secs à partir des laits LN et LEV et paramètres thrombélastographiques de coagulation des laits reconstitués correspondants

Laits	Ca (g/l)	Teneur* en présure (p. 100)	Température d'empresurage (°C)	Température de séchage (°C)		Paramètres thrombélastographiques des laits secs correspondants reconstitués à 10 p. 100	
				entrée	sortie	r min : s	k min : s
LN 1	1,25	0,03	10	160	90	111 : 00	85 : 00
				140	80	80 : 15	38 : 00
LN 2	1,25	0,07	»	160	90	90 : 00	56 : 00
				140	80	76 : 30	37 : 35
LN 3	1,35	0,03	»	160	90	54 : 00	46 : 40
				140	80	52 : 30	32 : 35
LN 4	1,35	0,07	»	160	90	51 : 00	49 : 00
				140	80	52 : 00	45 : 30
LEV 1	2,50	0,3	»	160	90	169 : 40	212 : 40
				140	80	173 : 15	290 : 00
LEV 2	2,50	0,5	»	160	90	163 : 30	193 : 00
				140	80	177 : 00	234 : 30
LEV 3	2,70	0,3	»	160	90	88 : 00	55 : 30
				140	80	94 : 30	61 : 00
LEV 4	2,70	0,5	»	160	90	84 : 30	67 : 30
				140	80	88 : 20	64 : 10

* Solution à 5 p. 100 d'une présure animale en poudre de force initiale 235 UP/g.

TABLEAU 2

Propriétés des poudres en fonction de leur origine et des conditions de séchage

Poudres	Température de séchage (°C)		ΔT (°C)	Humidité moyenne (p. 100)	Solubilité moyenne (p. 100)
	entrée	sortie			
PN 1, 2, 3 et 4	160	90	70	5,10	64,30
	140	80	60	5,85	64,90
PEV 1, 2, 3 et 4	160	90	70	4,20	99,20
	140	80	60	4,92	99,35

• *Aptitude à la coagulation* : nous avons déterminé l'influence de la température de séchage, des taux de présure et de calcium et de la concentration en matière sèche sur les valeurs des paramètres r et k pour des laits reconstitués à 10 p. 100 à partir des poudres PN et PEV (tab. 1). Dans le cas des laits LN, r et k diminuent avec les températures de séchage alors qu'ils augmentent pour les laits LEV ; r et k diminuent aussi nettement avec l'augmentation des teneurs en calcium et légèrement avec l'accroissement des quantités de présure. L'influence de la concentration du lait initial est également évidente : r et k sont plus importants pour les laits secs issus de laits pasteurisés concentrés bien que leur teneur en calcium et les quantités de présure qu'ils aient reçues soient plus élevées.

• *Activité résiduelle de l'enzyme dans les poudres* : comme le montre la figure 1, les quantités finales de NPN libérées par la présure et par les laits pré emprésurés secs dans un lait normal sont identiques, mais la vitesse de libération est variable. Elle est plus grande dans le cas des laits secs PEV que dans le cas de leurs homologues PN. De plus, pour un lait pré emprésuré sec donné, l'activité enzymatique résiduelle et la vitesse de libération du NPN sont plus grandes quand les températures de séchage utilisées sont plus basses.

3.3. Utilisation des laits pré emprésurés secs comme agents de coagulation

La coagulation par emprésurage à l'aide de lait pré emprésuré sec peut être réalisée de deux manières : par reconstitution de ce lait

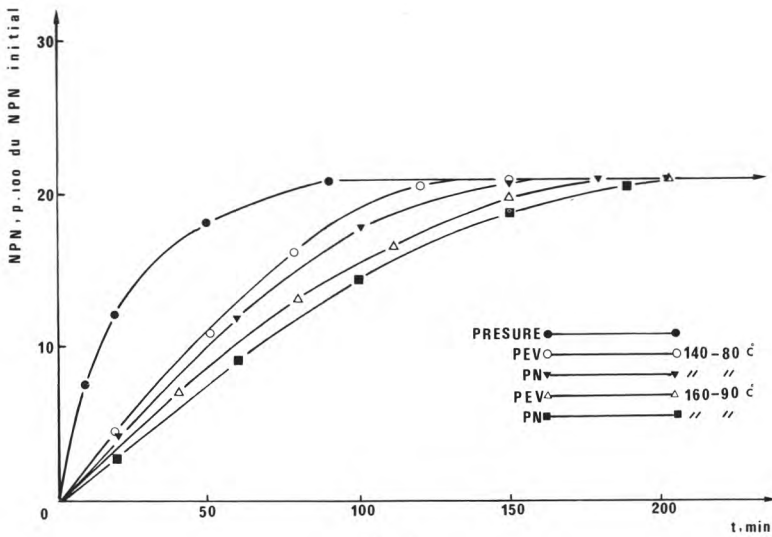


fig. 1

Libération de NPN par la présure et par différents laits pré emprésurés secs.

et mélange avec un lait quelconque pris comme substrat ou par addition directe de poudre pré emprésurée dans ce même lait substrat.

3.3.1. COAGULATION PAR UN LAIT RECONSTITUÉ

a) Mélange effectué à basse température

Nous avons utilisé comme substrat le lait de fabrication standard défini au paragraphe 2.1.C.

Les mélanges à 0° C et volume à volume de ce substrat avec un lait reconstitué à 10 p.100 à partir des différentes poudres PN ou PEV coagulent différemment comme le montre le tableau 3. L'influence des variations des quantités de présure ajoutées, relativement importante dans le cas des poudres PN, l'est beaucoup moins dans celui des poudres PEV. De plus, le mélange coagule plus lentement que le lait PN seul et plus vite que le lait PEV seul quand ce dernier n'est pas riche en calcium comme on peut le constater en comparant les tableaux 1 et 3. La figure 2 indique par ailleurs que le mélange de lait normal et de lait pré emprésuré coagule plus vite que le même lait normal simplement emprésuré avec une dose équivalente de présure et dans les mêmes conditions expérimentales.

TABLEAU 3

Paramètres de coagulation des mélanges de lait normal et des laits préempresurés reconstitués à basse température

Laits secs	Température de séchage (°C)		Paramètres thrombélastographiques du mélange	
	entrée	sortie	r min : s	k min : s
PN 1	160	90	175 : 00	114 : 00
	140	80	144 : 00	82 : 30
PN 2	160	90	104 : 00	50 : 00
	140	80	103 : 00	43 : 00
PN 3	160	90	153 : 00	80 : 00
	140	80	131 : 00	55 : 00
PN 4	160	90	94 : 30	41 : 00
	140	80	81 : 00	37 : 30
PEV 1	160	90	135 : 00	84 : 30
	140	80	125 : 00	77 : 30
PEV 2	160	90	118 : 00	60 : 30
	140	80	103 : 00	58 : 00
PEV 3	160	90	103 : 30	49 : 00
	140	80	100 : 30	47 : 00
PEV 4	160	90	93 : 30	60 : 00
	140	80	88 : 30	46 : 30

b) *Mélange effectué à température moyenne*

Dans ce cas les mélanges ont été réalisés à raison d'un volume du lait préempresuré sec PN ou PEV reconstitué à 10 p. 100 et maintenu à 10° C et d'un ou deux volumes de lait substrat maintenu à une température telle que le mélange final soit à 30° C environ. Nous avons utilisé comme substrat le lait de fabrication standard décrit précédemment, et, à titre de comparaison, un lait écrémé pasteurisé à 73° C pendant 20 s et un lait UHT du commerce. Dès que le mélange est réalisé il se produit une floculation partielle qui rend impossible toute mesure thrombélastographique. Une deuxième floculation très facile à observer par la méthode de Sommer et

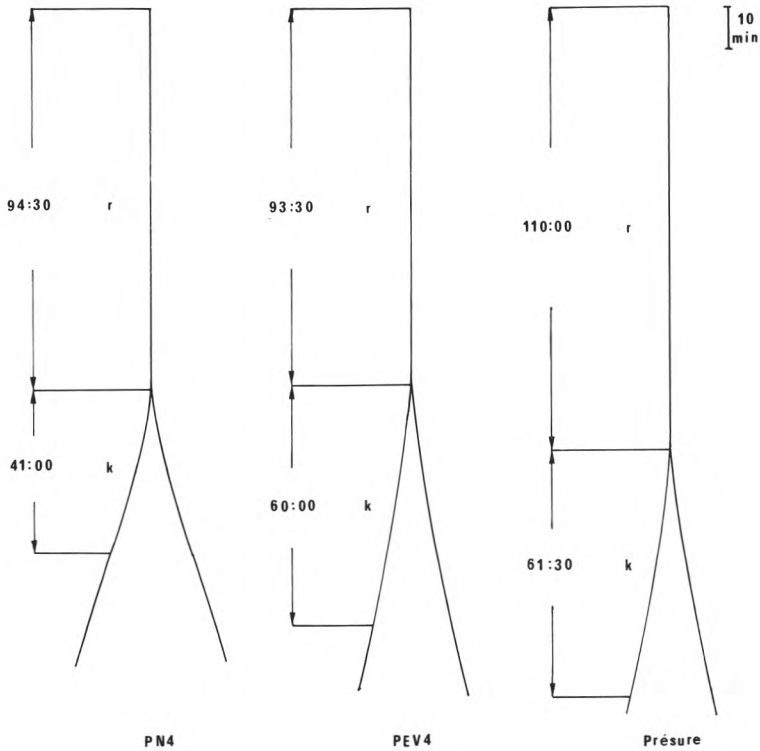


fig. 2

Coagulation de lait normal par la présure et par des laits préempresurés secs.

Matsen malgré les flocons précédents, conduit ensuite à la gélification du volume total. Les temps nécessaires pour atteindre cette deuxième floculation sont indiqués dans le tableau 4 pour les poudres PN et PEV et pour la quantité de présure correspondante utilisée seule. Les valeurs mesurées pour le lait PEV sont toujours inférieures à celles du lait PN quel que soit le substrat. Il est à noter enfin que la coagulation d'un lait UHT par un lait préempresuré est plus rapide que par la présure.

3.3.2. COAGULATION PAR ADDITION DE POUDRE

a) A basse température

Dans ce cas, l'empresurage réalisé à une température inférieure à 5° C, s'accompagne d'une augmentation du taux de matière sèche du mélange. Le tableau 5 indique que l'augmentation du taux de

TABLEAU 4

Caractéristiques des laits utilisés comme substrats et temps de floculation des mélanges en fonction de l'agent de coagulation

Laits substrats		Reconstitué		Pasteurisé		U.H.T.	
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Caractères							
pH		6,85		6,75		6,70	
Ca	g/l	1,18		0,98		0,80	
N	g/l	5,44		5,12		4,72	
Agents de coagulation	Temps de floculation min : s	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
PN		8 : 00	9 : 30	9 : 06	14 : 00	12 : 20	18 : 20
PEV		5 : 18	7 : 40	6 : 50	9 : 16	9 : 38	16 : 00
Présure		3 : 50	6 : 30	6 : 30	11 : 40	24 : 20	32 : 15

(1), (2) : 1 ou 2 volumes de substrat pour 1 volume de lait pré emprésuré ou la quantité de présure correspondante.

TABLEAU 5

Paramètres r et k en fonction du taux de reconstitution des laits pré emprésurés secs dans du lait normal à basse température

Taux de reconstitution p. 100	8,3		10		12,5		16,7	
Paramètres de coagulation min : s	r	k	r	k	r	k	r	k
	Laits secs							
PN	6 : 30	42 : 20	5 : 00	31 : 30	Ins	NM	Ins	NM
PEV	44 : 30	13 : 00	30 : 00	13 : 20	21 : 30	16 : 20	Ins	NM

Ins : floculation instantanée.

NM : non mesurable.

reconstitution diminue les temps de fabrication et qu'à partir de 16,7 p. 100 il y a floculation instantanée qui rend impossible toutes mesures thrombélastographiques, ce qui nous a conduit à utiliser un taux de reconstitution inférieur à ceux qui sont utilisés habituellement (8,3 p. 100). Il montre que l'utilisation de poudre PN donne des floculations plus rapides que la poudre PEV, bien qu'au départ les laits LN et LEV aient reçu, pour ces essais, des quantités égales de présure. Par contre, les gels obtenus se raffermissent plus vite dans le cas de poudre PEV.

La figure 3 (A, B, C, D, E) reproduisant les thrombélastogrammes des essais précédents, montre clairement que la coagulation se déroule différemment suivant le type de lait utilisé. Dans le cas des laits PN (fig. 3, A et B), elle se déroule en deux étapes très différenciées comme nous l'avons déjà constaté précédemment : la première correspond à la formation rapide de flocons à partir d'une fraction du mélange, la deuxième correspond à la formation d'un coa-

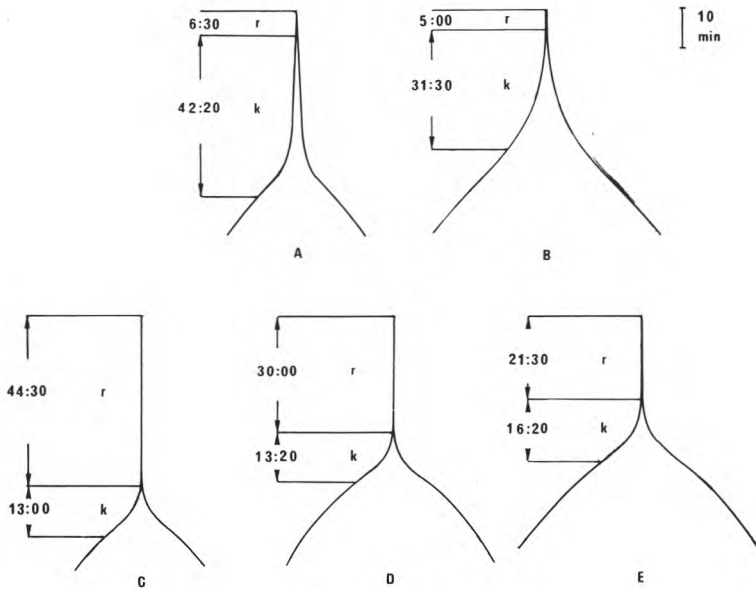


fig. 3

Coagulation des mélanges de lait normal et de différents laits préempresurés secs en fonction du taux de reconstitution :

- A : lait normal + 8,3 p. 100 PN.
- B : lait normal + 10 p. 100 PN.
- C : lait normal + 8,3 p. 100 PEV.
- D : lait normal + 10 p. 100 PEV.
- E : lait normal + 12,5 p. 100 PEV.

gulum homogène qui fait intervenir la totalité du produit. Les laits PEV, au contraire (fig. 3, C, D, E) ne semblent pas conduire à cette double floculation.

b) *A température moyenne*

Pour évaluer les caractéristiques des caillés, les laits secs pré-emprésurés PN et PEV sont dissous dans le lait reconstitué utilisé précédemment comme substrat et chauffés de façon à obtenir une température finale de 40° C. Après dissolution il est impossible d'effectuer des mesures thrombélastographiques à cause de la floculation instantanée du mélange et nous avons préféré effectuer des mesures d'indice de fermeté du caillé après exsudation du coagulum.

Pour toutes les valeurs du taux de reconstitution les gels obtenus se raffermissent rapidement et présentent les caractéristiques des coagulums présure classiques (tab. 6) ; dans tous les cas, ils peuvent être tranchés après un temps maximal de 15 min.

Il faut noter également que la quantité de calcium fixée dans le caillé augmente avec la concentration en matière sèche du lait reconstitué, l'augmentation de la teneur en calcium du sérum étant en effet inférieure à celle du mélange initial et les quantités de sérum recueillies diminuant avec l'augmentation d'extrait sec.

Les essais de coagulation que nous avons conduits parallèlement en ajoutant la poudre directement dans l'eau à 40° C ne nous ont pas permis d'obtenir des coagulums de type présure. Pour des taux de reconstitution voisins de 20 p. 100 le mélange floccule instantanément et conduit à une séparation immédiate de sérum ; pour des taux de reconstitution plus élevés (33 p. 100) il se forme un coagulum sans exsudation spontanée de sérum mais dont la fermeté reste toujours inférieure à celle d'un gel obtenu à partir d'un lait normalement coagulé par la présure.

IV. DISCUSSION

La solubilité et l'humidité des poudres pré-emprésurées (tab. 2) varient conformément avec les observations rapportées précédemment [17].

L'augmentation des paramètres r et k liée à un accroissement du taux de matière sèche du lait initial ou à une élévation des températures de séchage (tab. 1) est consécutive à une plus grande intensité du traitement thermique qui provoque un déséquilibre salin avec une baisse de la teneur en ions calcium solubles. L'augmentation de ces mêmes paramètres avec la diminution des températures de séchage dans le cas des laits PEV est peut-être à relier avec l'accroissement de la solvation des caséines (tab. 2) et de leur stabilité. La diminution de ces paramètres avec l'augmentation de la teneur en calcium et d'une manière moins nette, avec l'accroisse-

TABLEAU 6

Caractéristiques des coagulums obtenus par addition de poudre dans un lait normal à température moyenne

Taux de reconstitution (p. 100)	Laits secs	Ca dans le mélange (g/l)	N dans le mélange (g/l)	Caillé			Sérum		
				Caractères	IF		Séparation	Ca (g/l)	N (g/l)
					5 min	15 min			
10	PN	2,43	10,50	Mou, se raffermir progressivement (15 min)	NM	5,1	Légère exsudation	0,74	1,84
	PEV	2,30	10,42	Assez ferme pour être tranché en 15 min	2,8	5,7	Légère exsudation	0,58	1,50
12,5	PN	2,76	11,73	Mou, se raffermir progressivement (10 min)	NM	5,9	Légère exsudation	0,79	2,10
	PEV	2,62	11,70	Assez ferme pour être tranché en 5 min	5,2	6,2	Légère exsudation	0,66	2,20
16,7	PN	3,32	13,86	Mou, se raffermir progressivement (10 min)	NM	6,3	Légère exsudation	0,89	2,44
	PEV	3,13	13,85	Ferme	6,4	8,7	Pas de séparation	0,75	2,70
33	PN	5,51	22,10	Ferme	6,7	13,9	Pas de séparation	1,45	4,35
	PEV	4,87	21,85	Très ferme	10,2	18,2	Pas de séparation, très peu de sérum après décaillage	1,14	4,48

NM : non mesurable.

ment du taux d'emprésurage, est conforme avec la théorie de la coagulation [21].

La diminution de l'activité enzymatique résiduelle que l'on peut observer avec l'accroissement des températures de séchage est liée à l'augmentation de la dégradation thermique de l'enzyme, mais tous les laits préemprésurés secs conservent cependant une activité enzymatique résiduelle supérieure à 50 p.100 de l'activité de référence (fig. 1). L'influence favorable de l'augmentation de la concentration du lait sur l'activité résiduelle s'explique par un raccourcissement du temps de séjour dans la tour de séchage des particules pulvérisées.

La coagulation d'un lait normal par un lait préemprésuré sec est due à l'activité enzymatique résiduelle d'une part et à la possibilité de coagulation d'un mélange de lait dont une partie a déjà subi l'action de la présure d'autre part [7]. C'est ce qui peut expliquer que les paramètres r et k soient plus courts pour les laits coagulés par des laits préemprésurés secs que par la présure (fig. 2) quand les emprésurages sont réalisés à basse température.

La coagulation des mélanges d'un lait normal et d'un lait préemprésuré est favorisée également par l'augmentation de la concentration en calcium et ralentie par l'accroissement du volume de substrat ajouté qui entraîne une plus grande dilution de l'enzyme (tab. 4).

L'influence défavorable de la sévérité du traitement thermique subi par le substrat sur la coagulation du mélange s'explique par la formation de complexes entre la caséine k et la β lactoglobuline qui gênent l'action spécifique de la présure et par la diminution du calcium soluble [22].

La coagulation d'un lait normal est plus rapide avec le lait PEV qu'avec le lait PN à température moyenne du fait de sa plus grande activité enzymatique résiduelle.

L'accroissement de la vitesse de floculation du mélange d'une poudre de lait préemprésuré et d'un lait normal en fonction du taux de reconstitution (tab. 5) est dû à l'augmentation de matière sèche et en particulier du calcium ionisé [17]. La floculation très précoce observée avec la poudre PN (tab. 5 et fig. 3, A et B) est liée à sa plus grande instabilité qui se traduit par une floculation partielle du mélange qui ralentit en même temps l'action de l'enzyme sur le lait substrat. Ce même phénomène peut expliquer également la longueur apparente du paramètre k qui comprend à la fois la phase primaire relative au lait substrat et le temps de raffermissement du mélange lui-même. Les variations inverses des paramètres r et k dans le cas des mélanges avec une poudre PEV quand le taux de matières sèches augmente (tab. 5 et fig. 3, C, D et E) qui reflètent le déroulement normal de la coagulation, confirment cette hypothèse pour les laits PN.

L'impossibilité d'obtenir un caillé présure caractéristique par la reconstitution des laits préempresurés secs dans de l'eau à 40° C est due à une coagulation immédiate et turbulente de ces laits qui provoque la séparation brutale du sérum et du caillé au lieu de donner un coagulum homogène. Par contre, la reconstitution des laits préempresurés secs dans un lait normal à la même température conduit à des caillés caractéristiques (tab. 6). Il est possible dans ce cas que les micelles qui n'ont pas subi l'action de la présure et vont se disperser dans le mélange empêchent la formation d'un gel à partir des laits préempresurés. L'intervention ultérieure de ces micelles dans la coagulation du mélange sous l'action de l'enzyme conduit à la formation d'un gel présure homogène caractéristique.

La diminution de la teneur en calcium et en azote dans le sérum avec l'accroissement du taux de reconstitution est liée à un déplacement des équilibres salin et azoté et une diminution importante de l'égouttage.

V. CONCLUSION

Le séchage d'un lait normal ou concentré ayant subi l'action de la présure à basse température est possible. La poudre obtenue possède une activité enzymatique résiduelle capable de provoquer la coagulation d'un lait normal conduisant à un caillé plus ou moins ferme suivant la quantité de poudre utilisée. Ce caillé peut contenir la totalité des constituants du lait de mélange si le taux de reconstitution est suffisamment élevé pour supprimer l'égouttage. Cette technique peut ouvrir la voie à l'utilisation des laits préempresurés secs pour la production de fromage à égouttage réduit et présente de nombreux avantages : économie de présure, récupération d'éléments nutritionnels, élimination de la pollution provoquée par le sérum et simplification des moyens technologiques à mettre en œuvre.

Résumé

Le séchage d'un lait ayant subi l'action spécifique de la présure à basse température permet d'obtenir une poudre qui coagule par simple réchauffement après reconstitution. Nous avons montré que cette poudre contient plus de 50 p. 100 de l'enzyme initiale sous forme active et qu'elle peut provoquer la coagulation des laits normaux.

Des caillés de type présure caractéristiques ont été obtenus en utilisant cette poudre comme agent de coagulation. L'utilisation de quantités de poudre convenables permet de maîtriser l'égouttage du caillé et présente des avantages économiques.

Summary

RENNETED DRY MILKS FOR MILK CLOTTING

Powder obtained by atomisation of milk after rennet action at low temperature can be coagulated by simple heating after reconstitution. We have found that more than 50 p.100 of added enzyme rests in active form. Normal milks can be clotted and characteristic rennet curds can be obtained by utilisation of this powder as coagulating factor. Addition of powder according to the desirable curd dry matters permits control of whey draining and presents economic advantages.

Reçu pour publication en octobre 1980.

Bibliographie

- [1] ALAIS (C.) (1962). — Etude de l'action enzymatique de la présure sur la caséine. Isolement et composition du caséino-glyco-peptide. Thèse Docteur Ingénieur, Université de Paris.
- [2] ALAIS (C.) et NOVAK (G.) (1968). — Etude d'un enzyme coagulant microbien dérivé de *Endothia parasitica*. *Le Lait*, 48, 393.
- [3] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (1970). — Official methods of analysis, 11th ed. Washington, p. 563, 32.037.
- [4] BERRIDGE (N. J.) (1976). — Review of progresse of Dairy Science. Continuous cheese making. *J. Dairy Res.*, 43, 337.
- [5] BINGHAM (E. W.) (1975). — Action of rennin on K casein. *J. Dairy Sci.*, 58, 13.
- [6] BRULÉ (G.), MAUBOIS (J. L.) et FAUQUANT (J.) (1974). — Etude de la teneur en éléments minéraux des produits obtenus lors de l'ultrafiltration du lait sur membrane. *Le Lait*, 54, 600.
- [7] CHERYAN (M.), VANWYK (P. J.), OLSON (N. F.) and RICARDSON (T.) (1975). — Secondary phase and mechanism of enzymic milk coagulation. *J. Dairy Sci.*, 58, 477.
- [8] COMMANAY (J.) (1971). — Perspectives du lactosérum. *La Technique Laitière*, 719, 117.
- [9] DALGLEISH (D. G.) (1979). — Proteolysis and aggregation of casein micelles treated with immobilized or soluble chymosin. *J. Dairy Res.*, 46, 653.
- [10] GENIN (G.) (1968). — Les succédanés de la présure. *Le Lait*, 48, 53.
- [11] GREEN (M. L.), HOBBS (D. G.), MORANT (S. V.) and HILL (V. A.) (1978). — Intermicellar relation ships in rennet treated separated milk. II. Process of gel assembly. *J. Dairy Res.*, 45, 413.
- [12] HOUINS (G.), DEROANNE (C.) et COPPENS (R.) (1973). — Etude comparative de l'activité coagulante et du pouvoir protéolytique de la présure animale et de trois cas de ses succédanés. *Le Lait*, 53, 610.
- [13] KOWALCHYK and OLSON (N. F.) (1977). — Effect of temperature and pH on the secondary phase of milk clotting by rennet. *J. Dairy Sci.*, 60, 1265.
- [14] MAUBOIS (J. L.), MOCQUOT (G.) et VASSAL (L.). — Brevet d'invention du 18-7-69, n° 2 502-121. Additifs des 22-10-71, 7-1-72, 28-2-73 et 28-10-74.

-
- [15] PAQUOT (M.), THONART (Ph.) et DEROANNE (C.) (1975). — Amélioration des caractéristiques de la présure fixée sur verre poreux. *Le Lait*, 56, 154.
- [16] PIEN (J.) (1971). — Récupérons les protéines perdues dans le sérum. *La Technique Laitière*, 719, 109.
- [17] ROONGTANAPIROM (S.) BENNASAR (M.) et TARODO DE LA FUENTE (B.) (1979). — Aptitude à la coagulation de laits préempresurés secs. *Le Lait*, 59, 571.
- [18] SOMMER (H. H.) and MATSEN (H.) (1935). — The relation of mastitis to rennet coagulability and curd strength of milk. *J. Dairy Sci.*, 18, 741.
- [19] TARODO DE LA FUENTE (B.) et FRENTZ (R.) (1966). — Etudes thrombélastrographiques de la coagulation du lait par la présure, action de la température et de la concentration en calcium. *Le Lait*, 46, 371.
- [20] VEISSEYRE (R.) (1975). — Technologie du lait, 3^e édition, La Maison Rustique, 649-671.
- [21] WEBB (B. H.), JOHNSON (A. H.) and ALFORD (J. A.) (1974). — Fundamentals of dairy chemistry, 2th ed., The Avi Publishing Co-Inc, 662-718.
- [22] WILSON (G. A.) and WHELOCK (J. V.) (1972). — Factors affecting the action of rennin on heated milk. *J. Dairy Res.*, 39, 413.
-