

La technologie des fromages au lait de dromadaire (*Camelus dromedarius*)

TABLE DES MATIERES

par
J. - P. Ramet

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs

**autorités, ni quant au tracé de leurs
frontières ou limites.**

M-26

ISBN 92-5-203154-5

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, mise en mémoire dans un système de recherche bibliographique ni transmise sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit: électronique, mécanique, par photocopie ou autre, sans autorisation préalable. Adresser une demande motivée au Directeur de la Division des publications, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie, en indiquant les passages ou illustrations en cause.



Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

Les liens hypertextes vers d'autres sites de l'Internet ne signifient nullement que l'Organisation approuve officiellement les opinions, idées, données ou produits qui y sont présentés, qu'elle en assume la responsabilité ou qu'elle garantit la validité des informations qui s'y trouvent. Leur seul objectif est d'indiquer ou trouver un complément d'informations sur des thèmes apparentés.

TABLE DES MATIERES

I. Introduction

1.1 Importance du dromadaire dans les zones arides

1.2 Production de lait par le dromadaire

1.3 Composition du lait de dromadaire

1.3.1 Composition macroscopique

1.3.2 Composition fine

1.4 Rappels de technologies fromagère et beurrière

1.4.1 Rappel de technologie fromagère

1.4.2 Technologie des grandes catégories de fromages

1.4.3 Rappel de technologie beurrière

II. Aptitude fromagère du lait de dromadaire

2.1 Aptitude à la coagulation

2.1.1 Coagulation par voie enzymatique

2.1.2 Coagulation par voie acide

2.2 Aptitude à l'égouttage

2.2.1 Propriétés des gels et synérèse

2.2.2 Composition du lactosérum

2.3 Aptitude à l'affinage des fromages au lait de dromadaire

2.4 Produits dérivés du lactosérum

2.4.1 Fromages de lactosérum

2.4.2 Beurre de lactosérum

2.4.3 Boissons à base de lactosérum

III. Moyens d'amélioration de l'aptitude fromagère du lait de dromadaire

3.1 Sélection d'un lait de bonne qualité

3.1.1 Elimination des laits normaux

3.1.2 Maîtrise de la qualité microbienne

3.2 Préparation du lait

3.2.1 Traitement thermique

3.2.2 Correction de la teneur en matière grasse

3.2.3 Correction de la teneur en matière sèche

3.2.4 Correction des équilibres salins

3.3 Conduite de la coagulation

3.3.1 Choix de l'enzyme coagulante

3.3.2 Ajustement du pH de coagulation

3.3.3 Augmentation de la température de coagulation

3.3.4 Augmentation de la concentration en enzyme coagulante

3.4 Conduite de l'égouttage

3.4.1 Modalités

3.4.2 Rendements fromagers

3.5 Conduite de l'affinage

3.5.1 Modalités

3.5.2 Caractéristiques organoleptiques

IV. Protocoles de fabrication des fromages au lait de dromadaire

4.1 Recommandations générales

4.1.1 Règles communes

4.1.2 Préparation et utilisation des levains lactiques

4.1.3 Ensemencement des moisissures utilisables pour l'affinage de certains fromages

4.1.4 Caractérisation et utilisation des préparations enzymatiques coagulantes

4.2 Monographies

Fromages frais

Fromages type "chèvre"

Fromages à pâte molle

Fromages à pâte pressée non cuite

Fromages à pâte persillée

V. Bibliographie

Liste des tableaux

1. Population mondiale de dromadaires par pays rapportée à la surface et à la population

2. Composition du lait de dromadaire

3. Composition moyenne (%) de la caséine du lait de dromadaire

4. Diamètre moyen (μm) des micelles de caséine dans le lait de dromadaire de différentes origines

5. Composition en aminoacides de la caséine entière du lait de dromadaire

6. Composition en acides gras (g/100 g) de la matière grasse du lait de dromadaire

7. Composition minérale du lait de dromadaire ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)

8. Composition vitaminique du lait de dromadaire ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)

9. Relations entre les caractéristiques de la coagulation, de l'égouttage et du fromage

10. Rapports des temps de floculation observés dans le lait de dromadaire (T.F.D.) à ceux mesurés dans le lait de vache (T.F.V.)

11. Influence du chauffage du lait de dromadaire sur l'aptitude à la coagulation et à l'égouttage

12. Bilans matières de fromages à pâte molle obtenus à partir de lait de dromadaire, de lait de brebis et de leur mélange

13. Caractéristiques de fabrication de fromages à pâte pressée non cuite obtenue à partir de lait de dromadaire

Liste des figures

1. Aire de répartition géographique du dromadaire

2. Relation entre le temps de floculation et l'inverse de la concentration en enzyme coagulante pour différentes protéases coagulantes

3. Rhéogramme obtenu lors de la coagulation du lait par la présure

4. Evolution de la turbidité du lait de dromadaire après addition de présure

5. Evolution de l'acidification naturelle du lait de dromadaire et du lait de vache

6. Evolution de l'acidification du lait de dromadaire et du lait de vache sous l'influence de ferments lactiques mésophiles

7. Cinétique comparée de l'égouttage et de l'acidification d'un coagulum acide obtenu avec du lait de dromadaire et du lait de vache

8. Influence du taux de matière grasse de la crème sur le rendement en matière grasse lors du barattage

9. Influence du chauffage du lait de dromadaire sur la cinétique d'égouttage du lactosérum

10. Influence du mélange de lait de brebis au lait de dromadaire sur le temps de floculation

11. Influence du mélange de lait de brebis au lait de dromadaire sur la fermeté du coagulum

12. Influence du mélange de lait de brebis au lait de dromadaire sur la cinétique d'égouttage

13. Influence du mélange de lait de brebis au lait de dromadaire sur la cinétique d'acidification du coagulum

14. Influence du mélange de lait de brebis au lait de dromadaire sur le bilan en matière sèche

15. Influence de l'addition de différents sels sur le pH du lait de dromadaire

16. Influence de l'addition du chlorure de calcium sur le temps de floculation et la fermeté du coagulum

17. Influence de l'addition de chlorure de calcium sur le temps de floculation du lait de dromadaire

18. Influence de l'addition de chlorure de sodium sur le temps de floculation du lait de dromadaire

19. Influence du pH du lait de dromadaire sur l'activité coagulante de la présure de veau et de la pepsine bovine

Photographies



I. INTRODUCTION

1.1 Importance du dromadaire dans les zones arides

L'image du dromadaire, symbole de la survie de l'homme dans le désert, est attachée à

l'histoire des grandes civilisations nomades des régions sèches et chaudes de l'hémisphère nord de notre planète; il représente un des fondements de la culture et de l'agriculture des sociétés concernées.

L'aire de répartition géographique du dromadaire est située dans les zones tropicales et subtropicales sèches du nord de l'Afrique, de l'ouest du continent asiatique et du nord-ouest de l'Inde (fig. 1). Les limites de la distribution naturelle du dromadaire sont déterminées par les climats humides ainsi que par la présence de la mouche tsé-tsé. Une implantation massive de dromadaires a été faite au siècle dernier en Australie; des introductions très ponctuelles ont également été réalisées aux Etats-Unis, en Amérique Centrale et aux Caraïbes, en Afrique du Sud et en Europe. (Wilson, 1984; Wilson *et al.*, 1990).

Le dromadaire est l'animal domestique par excellence des déserts caractérisés par une longue période sèche et chaude souvent supérieure à huit mois et par des précipitations rares et faibles comprises entre 50 et 550 mm par an.

Le dromadaire est utilisé à des fins multiples d'où son rôle essentiel; il est exploité principalement pour le transport des marchandises, des personnes et pour la fourniture de lait; celui-ci représente souvent la seule ressource alimentaire régulière. Sa viande, sa laine et son cuir sont également largement utilisés. Parfois dans certaines ethnies de l'est africain, l'animal est régulièrement saigné et le sang est consommé en l'état ou mélangé au lait. D'une manière générale, le dromadaire est très estimé et il représente pour son propriétaire la concrétisation de sa réussite sociale.

Ce rôle majeur du dromadaire découle directement de sa remarquable adaptation aux conditions de milieux très difficiles; elle lui permet de prospérer là où aucun autre animal domestique ne peut simplement survivre.

Cette exceptionnelle résistance résulte de plusieurs particularités anatomiques et physiologiques. Ainsi lorsque l'animal dispose de fourrages verts, il peut rester en saison tempérée plusieurs mois sans s'abreuver; en période très chaude, il peut ne pas boire pendant 8 à 10 jours et perdre jusqu'à 30 % de sa masse corporelle par déshydratation (Yagil et Etzion, 1980; Yagil, 1982; Wilson, 1984; Yagil, 1985; Ramet, 1987).

Cette sobriété remarquable résulte de l'existence d'un métabolisme de base très lent ainsi que de plusieurs mécanismes assurant une économie en eau. Les pertes par la respiration et la transpiration sont très réduites en raison de la possibilité que possède le dromadaire de supporter, sans difficulté apparente, une variation de sa température interne de l'ordre de 6 degrés Celsius. Ainsi la chaleur excédentaire, accumulée en période très chaude pendant le jour ou à la suite d'un travail musculaire intense, est restituée ultérieurement par rayonnement, conduction et convection lorsque l'animal est au repos et lorsque l'atmosphère se refroidit pendant la nuit. Par ailleurs, ses pertes en eau par respiration et transpiration sont très faibles en proportion de la masse de l'animal; l'excrétion d'eau par voies fécale et urinaire est également très limitée (Wilson, 1984; Yagil, 1986). La morphologie de l'animal caractérisée par la longueur des membres et du cou et par la forme cylindro-conique de l'abdomen crée une grande surface favorable aux échanges thermiques, la conductivité thermique générale du corps semble également être favorisée par la localisation des réserves adipeuses au niveau de la bosse (Wilson, 1984; Yagil, 1986).

Une seconde contrainte imposée par le milieu aride est la rareté et la médiocre qualité alimentaire de la flore végétale rencontrée sur les parcours. Le dromadaire se caractérise parmi les autres ruminants par la variété de son régime alimentaire: il peut indifféremment se nourrir de plantes herbacées, d'arbustes, de pousses d'arbres et même de cactées et de noyaux de dattes. Pendant la saison sèche, il ne dispose le plus souvent que de plantes desséchées ou épineuses, pauvres en protéines mais très riches en fibres et en cellulose

(Peyre de Frabregues, 1989). Selon les rares études dont on dispose actuellement à ce sujet, il semble que le dromadaire digère mieux la cellulose et utilise mieux l'azote que tous les autres mammifères (CIHEAM, 1988; Kamoun *et al.*, 1989; Gérard et Richard, 1989).

Cette efficacité accrue dans la digestion de la cellulose apparaît consécutive à un processus de mastication spécifique qui entraîne une meilleure imprégnation de la salive dans le bol alimentaire; la présence au niveau de l'estomac de cellules aquifères permet à la fois une meilleure humidification de l'aliment lors de la rumination et une absorption améliorée de certains éléments solubles. L'estomac semble par ailleurs capable de retenir les particules grossières et de ne laisser migrer vers l'intestin que les éléments les plus fins d'où un rendement digestif accru (Yagil, 1985; Yagil, 1986).

Une autre particularité du dromadaire est constituée par son système très performant de recyclage de l'urée pour couvrir ses besoins en azote et compenser la faible teneur des plantes du désert en cet élément. Contrairement aux autres mammifères, le dromadaire possède des structures anatomiques très particulières au niveau du rein qui limitent considérablement l'élimination d'urée par les urines; l'élimination de l'urée sanguine est assurée par perméabilité sélective au niveau des parois de l'estomac et de l'intestin; cette urée est ensuite assimilée par la microflore de ces cavités pour assurer la synthèse protéique (Wilson, 1984; Yagil *et al.*, 1984; Yagil, 1985).

En 1985, la population totale de dromadaires a été estimée à 16,5 millions de têtes; celle-ci est principalement concentrée en Afrique avec plus de 80 pour cent du cheptel mondial; deux pays, la Somalie et le Soudan, dominant largement et possèdent à eux seuls plus de 70 pour cent du cheptel africain. En Asie, environ 70 pour cent des dromadaires, se trouvent répartis sur le subcontinent Indien (Wilson *et al.*, 1990).

Le suivi dans le temps de l'évolution de l'effectif mondial du troupeau est délicat en raison de l'absence dans le passé de statistiques précises et complètes. Il apparaît toutefois qu'une régression de la population a été observée de 1950 à 1980 et a été provoquée par des causes aussi diverses que la motorisation des transports, la sédentarisation des nomades et les sécheresses exceptionnelles. A l'inverse, au cours de la dernière décennie, à l'exception de quelques fluctuations locales et conjoncturelles, on assiste à un redéploiement du dromadaire (tableau 1). Cette évolution résulte de plusieurs facteurs dont le principal est une demande accrue en lait et en viande consécutive au développement démographique souvent très important des régions concernées. Un second facteur apparaît lié à une plus large utilisation du dromadaire pour le transport et les travaux agricoles dans les pays où le coût des carburants pétroliers est élevé. Le troisième élément qui a favorisé ce retour du dromadaire correspond à des retombées de la recherche scientifique et technologique qui ne s'est intéressée que très récemment à cet animal (Wilson *et al.*, 1990); ces travaux ont montré en particulier que le dromadaire était l'animal domestique le plus efficace en zones arides et chaudes pour transformer la matière végétale en travail, en lait et en viande; par ailleurs, l'acquisition de connaissances sur la pathologie et la physiologie de l'animal, sur les produits obtenus, ont conduit à une meilleure maîtrise des techniques d'élevage et de transformation (Hoste *et al.*, 1985; Higgins A., 1986; Marie, 1987; O.I.E., 1987; IEMVPT, 1989; CIHEAM, 1989; Wilson *et al.*, 1990).

1.2 Production de lait par le dromadaire

Les données concernant la production de lait par le dromadaire sont assez nombreuses, mais présentent une grande variabilité. Selon les références de différents auteurs, la durée de la lactation varie de 9 à 18 mois avec des rendements en lait compris entre 800 et 3.600 litres.

La production journalière moyenne semble se situer au voisinage de 2 à 6 litres en élevage

extensif traditionnel, contre 12 à 20 litres en élevage plus intensif. Les valeurs annoncées sont peu homogènes. Leur grande dispersion s'explique par le fait que les mesures ont été établies le plus souvent de manière ponctuelle et sans prendre en compte des facteurs particuliers pouvant influencer la production laitière. De plus, il existe vraisemblablement des races et des individus à potentiel laitier très différents; la pression sélective de l'homme sur le dromadaire a été en ce sens très inférieure à celle exercée sur les autres espèces domestiques (Richard et Gérard, 1989).

Les facteurs nutritionnels influencent également la production laitière; les régimes alimentaires riches en fourrages verts renfermant de la luzerne, du mélilot ou du chou accroissent sensiblement la quantité de lait produit (Knoess, 1977; Knoess *et al.*, 1986; Richard et Gérard, 1989). La production de lait n'est que faiblement diminuée en excluant l'eau de boisson de l'alimentation du dromadaire, par contre sa teneur en matière sèche chute très sensiblement (Yagil et Etzion, 1980; Yagil *et al.*, 1986; Ramet, 1987). Cette dilution du lait constitue vraisemblablement une réponse physiologique à la chaleur et au manque d'eau de boisson pour couvrir les besoins du jeune animal (Yagil *et al.*, 1986).

Les rares études concernant l'évolution de la quantité de lait produite en fonction du stade et du rang de lactation n'indiquent pas de résultats cohérents; les courbes de lactation présentent en outre des caractéristiques très différentes de celles observées avec les autres mammifères exploités pour leur lait: certaines montrent des rendements bas pendant la première moitié de la lactation, puis plus élevés pendant la seconde moitié; d'autres révèlent une production élevée en début de lactation, puis une baisse ultérieure. Parfois les courbes de production présentent un ou deux pics marqués ou au contraire sont très régulières pendant toute la lactation (Field, 1979; Bachmann et Schulthess, 1987; Ellouze et Kamoun, 1989; Gérard et Richard, 1989; Martinez, 1989). Cette très grande disparité de résultats peut être expliquée par le fait que la plupart des observations ont été mesurées sur des animaux possédant un

potentiel génétique non homogène et soumis à des conditions climatiques et alimentaires très différentes.

La pratique de la traite conditionne également la quantité de lait de récolte. Généralement, le chamelon est mis à téter pendant quelques minutes en début de traite pour favoriser la montée du lait, puis il est écarté pour la suite de la traite qui est faite manuellement. Une traite conduite sans stimulation mécanique préalable donne des rendements inférieurs en lait. La traite doit être exécutée par une personne acceptée par le dromadaire, le changement du trayeur habituel entraîne très souvent une importante rétention lactée. Enfin il apparaît également que le nombre de traites influence la production laitière journalière. Généralement les animaux sont traités de deux à quatre fois par jour (Hartley, 1980; Ramet, 1987; Martinez, 1989), parfois jusqu'à six à sept fois (Knoess, 1977). Le passage de deux à quatre traites accroît la production de 1 à 1,5 kg de lait par jour (Evans et Powys, 1979).

1.3 Composition du lait de dromadaire

1.3.1 Composition macroscopique

Les publications faisant mention de manière complète de la composition macroscopique du lait de dromadaire sont relativement rares: beaucoup d'informations apportées par l'étude bibliographique sont souvent imprécises et fragmentaires. Aussi nous n'avons regroupé dans le tableau 2 que les données qui nous sont apparues comme les plus significatives, certaines d'entre elles figurent déjà dans les synthèses faites sur le sujet par différents auteurs (Yagil, 1982; Wilson, 1984; Wilson *et al.*, 1990), nous les avons complétées par les apports récents de la littérature.

L'analyse des résultats (tableau 2) montre une dispersion assez large dans les valeurs des

principaux composants du lait de dromadaire. Cette diversité est vraisemblablement liée à des facteurs génétiques relatifs à l'aptitude laitière propre à chaque race de dromadaire, elle est également consécutive à l'hétérogénéité des observations qui ont été faites sur des animaux se trouvant dans des situations très diversifiées au plan physiologique et alimentaire. Il a été en particulier clairement démontré que la privation d'eau, établie de manière expérimentale (Yagil et Etzion, 1980; Yagil, 1986; Yagil *et al.*, 1986) ou consécutive aux variations climatiques saisonnières (Knoess *et al.*, 1986; Ramet, 1987), contribue à faire chuter très sensiblement les teneurs de tous les composants de la matière sèche. Leur valeur moyenne calculée par compilation des résultats analytiques publiés (tableau 2) montre que le lait de dromadaire est légèrement plus pauvre que le lait de vache (Webb *et al.*, 1983).

1.3.2 Composition fine

En plus de ces différences quantitatives, le lait de dromadaire présente une grande originalité dans la composition fine et qualitative des matières protéiques, des matières grasses et des matières minérales.

Matières protéiques

Le taux de caséine totale est un peu plus faible dans le lait de dromadaire que dans le lait de vache; il représente 75 à 79 pour cent de la matière protéique contre 77 à 82 pour cent pour le lait de vache (Jenness et Sloan, 1963; Mehaia, 1987). De plus l'équilibre entre les différentes fractions caséiniques est très différent (tableau 3) et se caractérise par une proportion limitée à 5 pour cent de caséine Kappa (tableau 3) alors qu'elle est de 13,6 pour cent dans le lait de vache (Jardali, 1988; Jardali et Ramet, 1991). La composition en acides aminés de ces fractions caséiniques n'est pas non plus la même que pour le lait de vache (tableau 4) (Sawaya, 1984; Larsson-Raznikiewicz et Mohamed, 1986; Farah et Ruegg, 1989; Mohamed, 1990).

Une autre particularité de la caséine du lait de dromadaire est qu'elle est distribuée sous forme de micelles ayant un diamètre double de celui du lait de vache (tableau 5) (Farah et Bachmann, 1987; Jardali, 1988; Farah et Ruegg, 1989; Jardali et Ramet, 1991).

La composition des protéines solubles du lait de dromadaire est également différente de celle du lait de vache; leur quantité est supérieure (0,9 à 1 pour cent contre 0,7–0,8 pour cent) et l'équilibre entre fractions est caractéristique. Deux types d' α -lactalbumine (Conti *et al.*, 1985) et une protéine originale (Beg *et al.*, 1987) y ont été décelés; de plus la présence de β -lactoglobuline est controversée.

Lactose

Le taux moyen de lactose contenu dans le lait de dromadaire est de 4,62 pour cent contre 4,80 pour cent dans le lait de vache; la teneur, qui peut être comprise entre 2,90 pour cent et 5,80 pour cent, présente une plus grande variabilité que pour le lait de vache, dont la teneur peut se situer entre 4,40 et 5,20 pour cent (Webb *et al.*, 1983).

Matières grasses

Différentes études faites sur la matière grasse de lait de dromadaire montrent deux originalités:

- La première concerne la dimension des globules gras; ceux-ci sont de petite taille; ils possèdent une enveloppe membranaire importante et apparaissent fortement liés aux protéines (Knoess *et al.*, 1986; Rao *et al.*, 1970; Farah *et al.*, 1990).**
- La seconde particularité correspond à une composition en acides gras pauvre en acides à courtes chaînes; la proportion en acides palmitique et stéarique est au contraire élevée (tableau 6). Les propriétés physiques des triglycérides se caractérisent par des points de**

fusion et de solidification plus élevés que pour la matière grasse du lait de vache (Abu-Leiha, 1987; Farah *et al.*, 1989).

Sels minéraux

Le tableau 7 indique les teneurs en sels minéraux mesurés par différents auteurs dans le lait de dromadaire d'origines variées: les valeurs moyennes comparées à celles du lait de vache (Scher, 1988) Montrent que le lait de dromadaire est moins minéralisé.

Il apparaît par ailleurs que l'équilibre salin entre les formes solubles et insolubles du calcium, du phosphore, du magnésium est voisine de celui trouvé dans le lait, le pourcentage de sels solubles se situant à environ 30 pour cent de la teneur totale (Farah et Ruegg, 1989). Pour des laits récoltés en saison chaude chez des animaux élevés de manière extensive traditionnelle, la proportion de calcium et de phosphore solubles apparaît plus élevée (Jardali, 1988) et égale respectivement à 61 pour cent et 75 pour cent des teneurs totales.

Vitamines

La composition en vitamines du lait de dromadaire (tableau 8) diffère de celle du lait de vache par une teneur en vitamine C un peu supérieure; le taux de vitamine A est beaucoup plus faible et de plus très variable de 50,0 U.I./100 g de lait (Sawaya *et al.*, 1984) à 12,9 U.I./100 g (Ahmed *et al.*, 1977). Il en est de même de la teneur en riboflavine et en vitamine B₁₂; la concentration en niacine est par contre beaucoup plus élevée. Compte tenu du nombre très restreint de données disponibles sur la composition vitaminique du lait de dromadaire, il convient de ne pas généraliser les valeurs présentées au tableau 8.

1.4 Rappels de technologies fromagère et beurrière

1.4.1 Rappels de technologie fromagère

Principes généraux

Le lait est un milieu d'origine biologique fortement altérable par voies microbienne et enzymatique. Ce caractère très périssable résulte principalement de sa composition très variée qui apporte la plupart des nutriments nécessaires à la prolifération des micro-organismes d'altération; sa teneur en eau très élevée et son pH voisin de la neutralité facilitent également cette évolution indésirable.

Les techniques fromagères ont pour but d'assurer la préservation du lait et d'en différer la consommation dans le temps. La protection du produit est obtenue principalement par une acidification lactique et par une déshydratation partielle dirigées qui sont conduites pendant les deux premières phases de la fabrication. Une troisième phase, appelée affinage, intervient ensuite le plus souvent; elle correspond à une transformation par voies enzymatique et microbienne du substrat précédemment séparé lors de l'égouttage.

En pratique fromagère, la maîtrise des facteurs de conservation précités permet de moduler ces évolutions et d'obtenir *in fine* des fromages présentant des compositions physico-chimiques et microbiennes, et des caractères organoleptiques très diversifiés. Les produits obtenus peuvent être classés en quatre catégories principales selon l'importance de la protection apportée par voie acide (pH) et par déshydratation (A_w : activité de l'eau).

Catégories de fromages	pH	A_w
Pâtes Fraîches	4,3–4,5	0,980–0,995
Pâtes Molles	4,5–4,8	0,970–0,990
Pâtes Pressées	4,8–5,2	0,940–0,970

Modalités générales de la fabrication

La coagulation

La coagulation du lait correspond à une déstabilisation de l'état micellaire originel de la caséine du lait. Dans la pratique, cette déstabilisation est réalisée de deux manières:

- **par voie enzymatique à l'aide d'enzymes coagulantes, en particulier la présure;**
- **par voie fermentaire à l'aide de bactéries productrices d'acide lactique se trouvant naturellement dans le lait et/ou apportées sous forme de ferments.**

Les mécanismes d'action de ces deux agents coagulants au niveau de la micelle sont très différents. Bien qu'ils conduisent tous deux à la formation d'un coagulum (gel ou caillé), les propriétés rhéologiques de ce dernier restent caractéristiques du mode de coagulation. L'aptitude à l'égouttage, dont dépendent les caractéristiques physico-chimiques du fromage, est déterminée également de façon spécifique par le type de coagulation.

Dans les techniques fromagères classiques, les deux modes de coagulation ne sont jamais utilisés séparément, seule varie l'importance relative de leur action coagulante respective. Cette distinction permet de classer les fromages en trois catégories:

- **les pâtes fraîches qui résultent d'une coagulation à caractère lactique prédominant;**
- **les pâtes pressées et les pâtes dures qui résultent d'une coagulation à caractère présure prédominant;**
- **les pâtes molles qui résultent d'une coagulation à caractère mixte.**

L'égouttage

L'état de gel est physiquement instable. La phase dispersante se sépare spontanément du coagulum sous forme de lactosérum. Cette séparation s'accompagne d'une ségrégation des différents composants originels du lait: la plus grande partie de l'eau, du lactose, une petite fraction de la matière grasse et des protéines sont éliminées par le sérum. La plus grande partie des protéines et de la matière grasse est retenue dans le coagulum dont l'extrait sec croît progressivement à mesure de l'élimination de sérum.

L'acidification du lait avant et après coagulation élimine les sels minéraux primitivement fixés sur la micelle. Le niveau de minéralisation résiduelle des protéines détermine le degré de cohésion du coagulum, son aptitude à l'égouttage ainsi que l'extrait sec final du fromage.

La technique de fabrication propre à chaque type de fromage vise à développer dans le coagulum, dans un temps déterminé, une acidification d'intensité adéquate compatible avec les caractéristiques physico-chimiques recherchées dans le produit fini non affiné.

Le processus d'acidification est un phénomène biologique sujet à variabilité; la maîtrise complète des techniques fromagères implique une connaissance, un contrôle et une utilisation rigoureuse des levains lactiques.

L'affinage

A la fin de l'égouttage, le coagulum se trouve sous forme d'une masse semi-solide dont le volume, la forme, la composition chimique sont déterminés. La plupart des fromages subissent alors une maturation qui va modifier leur aspect, leur composition, leur consistance, leur valeur nutritive, leur saveur et leur arôme.

L'affinage correspond à la digestion enzymatique du substrat préparé par la coagulation et l'égouttage. Le support essentiel est constitué par les caséines qui sont hydrolysées en éléments plus simples: polypeptides, peptides, acides aminés, ammoniac. La matière grasse est dégradée d'une manière plus limitée, sauf dans le cas particulier des pâtes molles persillées. Acides gras, glycérol, aldéhydes cétones sont libérés de manière spécifique pour chaque type de fromage.

Protéolyse et lipolyse se font par l'intermédiaire d'enzymes dont l'origine est variée: enzymes naturelles du lait, enzymes coagulantes, enzymes produites par divers micro-organismes (moisissures, bactéries, levures) se développant dans et/ou sur le fromage. Cette dernière catégorie d'enzymes intervient d'une manière dominante.

Le pH optimum d'activité de ces enzymes est généralement voisin de la neutralité; or, à la fin de l'égouttage, le pH du fromage, de l'ordre de 4,5–5,2, est trop bas et peu propice à une dégradation enzymatique optimisée du substrat.

Une remontée du pH est nécessaire, celle-ci est réalisée:

- soit directement par voie chimique; l'acide lactique résiduel est neutralisé au sein de la pâte par la charge minérale élevée des pâtes minéralisées (à coagulation de type présure);**
- soit indirectement par l'intermédiaire de flores micro-organiques neutralisantes dont on favorise le développement à la surface ou dans la masse du fromage.**

Les mécanismes de la maturation sont très complexes, peu connus et très particuliers d'un type de fromage à l'autre. Dans la pratique, la mise en oeuvre, le contrôle des facteurs de maturation (température - hygrométrie - composition de l'atmosphère) permettent de maîtriser ces processus aux équilibres subtils et d'obtenir un produit fini conforme aux normes légales

et organoleptiques requises.

1.4.2 Technologie des grandes catégories de fromages

Technologie des fromages frais

Le terme “fromage frais” ou “pâte fraîche” est attribué à une catégorie de fromages caractérisés par un certain nombre de particularités technologiques qui leur confèrent leur originalité:

La coagulation

Elle est à caractère acide prédominant. Pour cela, le technicien fromager favorise la production d'acide lactique, d'une part en ensemençant son lait avec des levains mésophiles à dose relativement élevée (0,5 à 3,0 litres / 100 litres lait) et en les plaçant dans des conditions de température correspondant à leur optimum de développement (18 à 25°C), et d'autre part, en limitant l'action coagulante de la présure par l'emploi de quantités réduites (1 à 5 ml de présure de force 1/10 000 pour 100 litres) dans des conditions de température éloignées de son optimum d'activité.

Ce processus spécifique de coagulation est essentiellement tributaire de la vitesse d'acidification et de l'abaissement corrélatif du pH. Le phénomène est relativement lent: le temps de prise ou temps de floculation varie de 6 à 15 heures: le temps de tranchage ou temps de coagulation totale est de l'ordre de 16 à 48 heures. Cette durée importante implique l'homogénéisation préalable du lait chaque fois que l'on met en oeuvre un lait gras afin d'éviter une remontée en surface de la matière grasse.

En fin de coagulation, l'acidité est élevée (65 à 100°D), le pH est bas (4,5 à 4,8) et le coagulum

obtenu présente les caractères typiques d'un caillé lactique: fermeté, friabilité et perméabilité.

L'égouttage

L'aptitude à l'égouttage des coagulums de fromages frais est limitée. L'extrait sec dégraissé final est généralement inférieur à 30 pour cent et il varie le plus souvent entre 12 et 22 pour cent.

La synérèse spontanée est lente et incomplète en raison du faible degré de minéralisation de la caséine et de la faible contractibilité du caillé qui en résulte. Dans la pratique, il est nécessaire, pour obtenir dans des délais raisonnables un fromage suffisamment égoutté, d'exercer une action mécanique sur le coagulum. Cette dernière doit toujours être d'intensité réduite en raison de la grande friabilité du gel.

Dans les techniques traditionnelles, cette action consiste en un simple rompage du coagulum associé à un pressage et un brassage de faible énergie; ces opérations sont effectuées lors de la mise en sacs et des retournements. Dans ces conditions, la durée totale de l'égouttage reste longue (24 à 36 heures).

Les procédés modernes en continu par centrifugation permettent de réaliser un égouttage pratiquement instantané. Le traitement mécanique plus brutal que subit le coagulum nécessite, pour éviter des pertes excessives en extrait sec dans le sérum, l'emploi de conditions de coagulation un peu différentes de façon à diminuer la friabilité du gel; dans ce but, le praticien accentue le caractère présure du coagulum en employant des doses de présure et des températures de coagulation plus élevées que dans les méthodes classiques.

La pâte obtenue en fin d'égouttage se caractérise par un extrait sec faible, un pH bas (voisin de 4,5) qui lui confère son goût acidulé, un faible degré de minéralisation (0,1 pour cent de

calcium, 0,2 pour cent de phosphore). Cette teneur élevée en eau et le faible degré de minéralisation entraînent un manque de tenue et de cohésion du fromage; celui-ci se présente généralement sous forme d'une pâte; il est nécessaire de le conditionner dans des récipients rigides et étanches. L'étanchéité est nécessaire pour éviter que le sérum, pouvant exsuder du fromage après moulage, sorte de l'emballage, et pour protéger la pâte des contaminations externes.

La consommation du produit s'effectue généralement sans affinage, dès la fin de l'égouttage après incorporation éventuelle de différents ingrédients (matière grasse, sel, sucre, épices, etc.). La durée de conservation est limitée à quelques jours et la consommation du produit ne peut être différée que sous réserve d'un conditionnement rigoureux et d'un maintien en réfrigération (0–4°C).

Technologie des fromages à pâte molle

Le terme “pâte molle” est réservé à une catégorie de fromages caractérisés par:

1) Une coagulation à caractère mixte: les deux agents coagulants traditionnels, présure et acide lactique, interviennent de façon équivalente; les concentrations utilisées sont les suivantes:

- présure de force 1/10 000: 15 à 25 ml/100 l lait**
- ferments lactiques mésophiles: 1 à 3 l/100 l lait**

Les conditions de température (32 à 38°C) sont ajustées de façon à favoriser aussi bien l'activité des levains lactiques que celle de la présure.

2) Les caractéristiques de la coagulation conduisent à la formation d'un coagulum de caractère

mixte dont les propriétés sont les suivantes:

- **friabilité moyenne qui conditionne l'intensité du travail mécanique en cours d'égouttage;**
- **contractibilité moyenne déterminée par le degré de minéralisation modéré de la pâte;**
- **perméabilité bonne liée à l'évolution de l'acidification.**

Contractibilité, perméabilité et acidification conduisent à la formation d'une pâte à extrait sec moyen (45 à 55 pour cent), pH bas (4,7–4,9) et degré de minéralisation limité (0,2–0,3 pour cent de Ca). Le format des fromages est moyen.

3) L'affinage est de durée variable (15 jours à 2 mois). Cette vitesse est fonction:

- **de la teneur en eau moyenne de la pâte;**
- **des activités enzymatiques (protéases - lipases) provenant de la présure, des ferments lactiques, de la microflore superficielle ou interne du fromage.**

On a coutume de distinguer trois grandes catégories de pâtes molles selon la nature de la flore dominante implantée sur ou dans le fromage:

- Pâte molle fleurie: Penicillium camembertii
- Pâte molle lavée: Brevilacterium linens
- Pâte persillée: Penicillium roquefortii

Technologie des fromages à pâte pressée et à pâte dure

Les désignations “Pâte pressée” et “Pâte dure” sont attribuées à deux catégories de fromages caractérisées par:

Une coagulation à caractère présure prédominant

L'action coagulante prépondérante de la présure est obtenue par l'utilisation de doses élevées de présure (20 à 40ml/100 l lait) dans des conditions de température (32°C à 40°C) très favorables à l'activité de l'enzyme.

Le caractère lactique reste très limité par l'emploi de doses faibles (0,5 à 1 l/100 l) de levains acidifiants mésophiles et/ou thermophiles dans des conditions de température (34 à 40°C) assez peu propices à leur prolifération rapide.

Le temps de floculation est court (10 à 30 mn). Le coagulum formé présente des propriétés caractéristiques: il est souple, peu friable et possède une bonne aptitude à l'égouttage. Ces propriétés résultent de son degré élevé de minéralisation, le calcium et le phosphore se trouvant intégrés dans le réseau de phosphoparacaséinate de Calcium, constitutif du gel.

Egouttage rapide et prononcé

L'extrait sec élevé (45 à 70 pour cent) du fromage est obtenu en faisant subir au coagulum plusieurs traitements physiques (tranchage, brassage, lavage, chauffage, pressage); ces actions ne sont efficaces que si elles sont accompagnées d'une acidification simultanée, modérée et contrôlée du caillé, qui, en déminéralisant partiellement le coagulum, va lui faire perdre son imperméabilité et permettre l'obtention d'une pâte de fromage très minéralisée (1,2 à 1,8 pour cent de Ca) et de fromages de gros format. Le pH du fromage à la fin de l'égouttage est voisin de 5,0–5,2.

La durée totale de l'égouttage est modérée (20 heures), mais il faut remarquer que la presque totalité du sérum est éliminée au cours du travail en cuve (généralement en moins de deux heures), le pressage final en moules correspond donc surtout à une mise en forme du fromage.

Affinage

La neutralisation de la pâte, préalable à la protéolyse, se fait essentiellement par voie chimique par l'intermédiaire du calcium; dans certains cas, la neutralisation peut être complétée par le développement contrôlé à la surface du fromage d'une flore microbienne neutralisante productrice d'ammoniac.

Ces modalités particulières permettent d'obtenir une neutralisation puis une protéolyse régulière et homogène de toute la masse du fromage. La protéolyse se fait par voie enzymatique; la présure, les protéases bactériennes sont les plus actives.

Dans certaines pâtes pressées (gruyère, emmenthal), le technicien développe une fermentation gazeuse particulière: la fermentation propionique; celle-ci est responsable de l'ouverture de la pâte c'est-à-dire de la formation de trous, elle contribue également au développement des qualités organoleptiques.

La durée de l'affinage est longue (3 semaines à 6 mois), elle varie dans le même sens que l'importance de l'extrait sec. La température des haloirs est de l'ordre de 12°C pour les fromages à pâte pressée non cuite; pour les fromages à pâte pressée cuite, l'affinage est généralement effectué à deux températures: cave froide 12°C environ, cave chaude 20°C environ.

L'affinage s'accompagne généralement de soins dont le but essentiel est de contrôler le développement des germes utiles ou d'interdire la prolifération des flores sauvages et nuisibles s'implantant spontanément à la surface du fromage.

Les fromages de lactosérum de fromagerie

Le lactosérum renferme généralement une proportion non négligeable (0,75–0,95 pour cent) de protéines, principalement représentées par l' α -lactalbumine et la β -lactoglobuline (Webb *et al.*, 1974). Ces dernières protéines ont la propriété d'être coagulables sous l'effet de la chaleur. (Lyser, 1979). La réaction débute lorsque la température avoisine 65°C; elle devient plus importante avec l'accroissement du couple temps-température, appliqué lors du chauffage.

En pratique, cette propriété a été largement exploitée pour produire des fromages dits de lactosérum; ce sont des produits traditionnels dont beaucoup sont originaires des Pays du Bassin Méditerranéen. (Pernodet, 1979; Ramet, 1985; Kandarakis, 1985). Ces produits ne sont pas de véritables fromages au sens de la définition générale puisqu'ils ne dérivent pas directement de la coagulation du lait.

Le procédé de fabrication consiste à mettre en oeuvre un lactosérum riche en protéines solubles provenant préférentiellement de fromages à pâtes pressées, obtenus par coagulation enzymatique dominante de lait de vache, de chèvre et (ou) de brebis; ce sérum est porté progressivement en 20 à 45 min à une température comprise entre 88 et 95°C, puis maintenu à cette température pendant 15 à 30 minutes. Généralement, les premières particules coagulées apparaissent aux alentours de 78–80°C selon l'acidité et la charge en protéines du sérum. Les agrégats formés se rassemblent à la surface du sérum déprotéiné et peuvent être collectés normalement à l'aide de simples écumeurs ou filtrés dans des sacs en toile.

Le degré de chauffage a une influence sur la qualité du fromage; au-dessus de 88°C, celui-ci tend à devenir plus sec, plus dur et granuleux, et à acquérir un goût de cuit. En dessous de cette température, le caillé s'égoutte mal et reste très humide; les agrégats sont très friables et difficiles à collecter. Les rendements en poids de fromages de sérum obtenus, varient sensiblement selon la richesse du lactosérum et le degré d'égouttage du caillé; pour un sérum de lait de vache, la quantité recueillie est de 3,5 kg/100 l de sérum. La teneur moyenne en

matière sèche totale de la pâte est voisine de 20–25 pour cent et le taux de matière grasse par rapport à la matière sèche totale compris généralement entre 11 et 45 pour cent.

L'aptitude à la conservation est limitée par son humidité élevée et son acidité réduite (pH 5,5 - 6,2); le produit peut être consommé en l'état comme fromage de table ou entrer dans les préparations de plats cuisinés et de pâtisserie.

Il existe de nombreuses variantes au procédé de base décrit ci-dessus; celles-ci ont pour but d'améliorer le coefficient de récupération des protéines lactosériques et (ou) d'accroître le taux de matière grasse du produit final, qui peut être porté entre 40 et 50 pour cent comme dans le fromage RICOTTA et le BROCCIU. Les méthodes les plus employées consistent à ajouter 20 à 30 pour cent de lait entier au lactosérum et de réaliser une acidification simultanée jusqu'à une valeur de pH comprise entre 4,6 et 5,8 (Kandarakis 1985). L'acidification peut être conduite à l'aide de divers acides organiques (acétique - citrique - lactique - tartrique), d'acides minéraux comme l'acide phosphorique ou de lactosérum acide. D'autres alternatives ont pour but de favoriser la déstabilisation des protéines à l'aide de 0,1 à 0,5 pour cent de chlorure de sodium et/ou de chlorure de calcium.

Enfin, les procédés les plus modernes font appel à des techniques plus sophistiquées comme l'ultrafiltration, pour concentrer les protéines sériques avant chauffage ou comme la centrifugation pour séparer plus efficacement le précipité formé.

Les fromages de lactosérum sont en général très recherchés par les consommateurs locaux en raison de leurs propriétés organoleptiques très remarquables et en particulier pour leur goût très typé et leur texture très onctueuse. La valeur nutritionnelle des fromages de sérum est par ailleurs importante en raison de la richesse des protéines lactosériques en acides aminés essentiels, en particulier cystine et méthionine (Porter, 1978).

1.4.3 Rappels de technologie beurrière

Le globule gras

La matière grasse du lait de vache se trouve à l'état d'émulsion sous forme de globules dont le diamètre moyen est de 3 à 5 microns.

Le globule gras a une structure hétérogène; à la coupe, il présente trois parties:

- **une membrane extérieure;**
- **une couronne constituée de matière grasse solide à température ambiante;**
- **un noyau constitué de matière grasse liquide à température ambiante.**

La stabilité de la matière grasse est liée à l'intégrité de cette structure globulaire. La fabrication du beurre consiste à déstabiliser l'émulsion par l'intermédiaire d'action chimique (maturation des crèmes), mécanique (écrémage, agitation) et thermique (régulation des températures de la maturation et de barattage des crèmes).

Les phases de la fabrication du beurre

1) Ecrémage du lait:

- **se fait par voie centrifuge et/ou par voie naturelle**
- **taux de matière grasse de la crème: 350 à 400 g/l**

2) Désacidification des crèmes:

Un excès d'acidité de la crème:

- **entraîne des risques élevés de coagulation totale ou partielle lors de la pasteurisation d'où colmatage, gratinage au niveau des surfaces chauffantes et un effet germicide atténué du chauffage.**
- **favorise l'apparition de goûts désagréables dans le beurre lors du stockage.**

Lorsque l'acidité des crèmes est élevée (supérieure à 20°D ; cas des crèmes fermières notamment), deux techniques sont utilisées pour réduire l'acidité:

- **le lavage des crèmes qui consiste à mélanger la crème trop acide dans de l'eau. Tous les composants de la crème sont ainsi dilués, notamment l'acide lactique. Ultérieurement, la matière grasse doit être reconcentrée par centrifugation.**
- **la neutralisation par addition de neutralisants chimiques: différents produits basiques (soude, chaux, magnésie) sont additionnés en quantité dosée à la crème en fonction de son acidité initiale et de l'acidité finale recherchée. C'est la méthode généralement employée car la plus facile à mettre en oeuvre.**

3) Pasteurisation des crèmes:

Le but de la pasteurisation des crèmes est triple:

- **destruction totale de la flore pathogène pouvant se trouver dans la crème crue.**
- **destruction aussi complète que possible de la flore banale, celle-ci sera remplacée ultérieurement par des levains lactiques sélectionnés à pouvoirs acidifiant et aromatisant connus.**

- **destruction des lipases, enzymes de dégradation de la matière grasse, génératrices d'altération de goût du beurre au cours du stockage.**

Pour parvenir à ces résultats, le traitement thermique doit être énergique, la pasteurisation des crèmes est réalisée à température élevée: 90–95°C pendant 30 secondes à 2 minutes. Elle est conduite à l'aide de matériels variés: cuves chauffantes à double paroi, pasteurisateurs tubulaires ou à plaques. Un dégazage est pratiqué généralement parallèlement à la pasteurisation, il vise à éliminer les composants malodorants dissous ou fixés sur la matière grasse.

Après pasteurisation, la crème chaude est refroidie à 8 à 14°C, température où s'effectue la maturation de la crème.

4) Maturation des crèmes:

Le but de la maturation des crèmes est double:

- maturation chimique:

Celle-ci consiste à développer dans la crème, par l'intermédiaire de levains lactiques sélectionnés:

- **une acidité favorable à la déstabilisation de l'émulsion de matière grasse et à la conservation du beurre;**
- **la formation de composés aromatiques, notamment le diacétyle responsable d'un goût de noisette caractéristique, indispensables à la fabrication du beurre de bonne qualité organoleptique.**

L'ensemencement en levains lactiques s'effectue généralement à la dose de 2 à 4 pour cent; la maturation dure de 10 à 16 heures, l'acidité recherchée dans la crème après maturation est voisine de 40 à 45 ° D pour les crèmes destinées à être barattées par les procédés classiques; pour le barattage continu, on recherche des crèmes plus douces.

- maturation physique:

La température de maturation ainsi que la température de refroidissement de la crème après maturation avant barattage conditionnent l'état physique de la matière grasse. Elles règlent la proportion de matière grasse à l'état liquide ou solide qui influe sur la consistance du beurre. Lorsque la température est basse, la totalité de la matière grasse se trouve à l'état solide, le beurre obtenu sera dur. Inversement, une élévation de température va entraîner la fusion partielle ou totale de la matière grasse du noyau des globules gras; le beurre obtenu sera plus mou.

La vitesse de refroidissement de la crème influence également la consistance du beurre en déterminant la taille des cristaux de matière grasse. Si le refroidissement est rapide, les cristaux de matière grasse apparaissent en grand nombre et restent petits; le beurre obtenu sera souple. Au contraire, si le refroidissement est lent, il y a formation de gros cristaux, peu nombreux, le beurre obtenu sera cassant.

5) Le barattage:

Le barattage consiste à réaliser par voie mécanique (agitation) l'expulsion de la matière grasse intraglobulaire liquide, celle-ci va assurer une liaison continue (ciment) entre globules voisins. Lorsque cette liaison est assurée, le grain de beurre apparaît.

Un rapprochement préalable des globules gras est indispensable avant la phase d'expulsion de

la matière grasse; la formation de mousse (foisonnement), au début de l'agitation de la crème, entraîne la concentration des globules gras dans les fines lamelles de lait constituant la paroi des bulles.

L'expulsion de la matière grasse est obtenue lors de l'agitation de la crème par chocs mécaniques entre globules voisins et contre les parois de la baratte.

Dès la formation du grain de beurre, la mousse tombe; le babeurre (lait acide écrémé) se sépare du grain de beurre.

L'élimination du babeurre qui contient des éléments fermentescibles (lactose, protéines) préjudiciables à une bonne conservation du beurre, est réalisée par lavage à l'eau pure chimiquement et bactériologiquement. Lors de cette opération, la taille du grain de beurre augmente. A la fin du lavage, le beurre se trouve sous forme de petites mottes qui sont agglomérées en une masse compacte lors de la phase suivante: le malaxage.

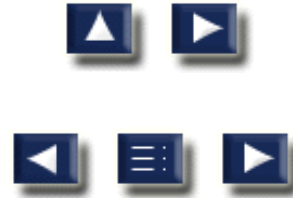
Le malaxage assure une soudure parfaite des grains et mottes de beurre ainsi qu'une pulvérisation très fine de l'eau, indispensable à la bonne conservation du beurre; il permet également de régler la teneur en eau du beurre au taux légal maximum (16 pour cent) lorsqu'une réglementation existe.

6) Conditionnement - Stockage du beurre:

Après sortie de la baratte, le beurre est conditionné. Les matériaux de conditionnement doivent assurer une protection efficace contre les contaminations d'origine microbienne et contre les radiations lumineuses, un des facteurs responsables de l'oxydation de la matière grasse.

La température de stockage doit assurer une inhibition de la prolifération de tout micro-

organisme d'altération (moisissures, bactéries lipolytiques) ainsi que l'inactivation de certaines enzymes (lipases). Dans ce but, les températures de stockage de longue durée (plusieurs mois), sont de l'ordre de -20°C à -35°C.



II. APTITUDE FROMAGERE DU LAIT DE DROMADAIRE

Dans les traditions pastorales, le lait de dromadaire est principalement réservé à l'alimentation du jeune dromadaire et à celle de l'homme. La technique la plus répandue consiste à réserver deux quartiers de la mamelle pour la production du lait destiné à la consommation humaine. Cette sélection se fait par protection à l'aide de filets ou des cordes, des tétines correspondantes, ainsi le chamelon peut disposer des deux autres quartiers pour téter librement (Ramet, 1987; 1989).

Le lait destiné à l'alimentation humaine est, le plus souvent, bu immédiatement après la traite; il peut être également consommé sous forme de laits fermentés obtenus par acidification lactique naturelle pendant quelques heures dans des récipients en peau ou en terre cuite. Parfois le lait acidifié est agité violemment, le barattage ainsi réalisé permet de séparer une phase liquide non grasse constituée par le babeurre qui est utilisé comme boisson; le beurre est incorporé dans diverses préparations culinaires, mais peut également servir de cosmétique et de médicament (Yagil, 1982).

La transformation du lait de dromadaire en produits dérivés de type fromage est réputée très difficile, voire impossible (Dickson, 1951; Gast *et al.*, 1969; Yagil, 1982; Wilson, 1984). Il n'existe donc pas de tradition fromagère exploitant le lait de dromadaire, situation tout à fait surprenante et exceptionnelle au regard de la plupart des systèmes pastoraux qui ont très souvent développé un ou plusieurs types de fromages originaux. Ce constat peut être expliqué par certains interdits culturels et locaux qui limitent la consommation du lait de dromadaire à la forme boisson et en excluent toute possibilité de négoce. Il est probable également que le caractère très altérable de la plupart des fromages en climat chaud, n'a pas favorisé la création de courants d'échanges entre des populations par ailleurs isolées et souvent enclavées, comme cela existe pour d'autres produits moins périssables.

Outre les causes culturelles précitées, il apparaît également que, du point de vue technologique, le lait de dromadaire est plus difficile à transformer que le lait des autres espèces animales domestiques. L'étude bibliographique indique que seuls quelques rares fromages sont fabriqués en Ahaggar et dans la péninsule du Sinai, par séparation des protéines de lait préalablement insolubilisées par acidification (Gast *et al.*, 1969; Yagil, 1982); le fromage obtenu se présente sous forme d'une pâte humide présentant les caractéristiques des fromages frais; il s'agit d'un produit altérable en raison de sa forte teneur en eau, il doit être consommé rapidement; toutefois, par salage et séchage naturel au vent et au soleil, il est possible de prolonger considérablement la conservation du produit et de la porter à plusieurs mois.

Ces fromages frais, éventuellement séchés, ne correspondent pas à la définition vraie du fromage qui fait intervenir, dès le début de la fabrication lors de la coagulation, une action plus ou moins importante d'une enzyme coagulante conjointement à l'acidification par voie fermentaire (Ramet, 1985).

2.1 Aptitude à la coagulation

2.1.1 Coagulation par voie enzymatique

Réactivité du lait de dromadaire à l'action des enzymes coagulantes

La plupart des tentatives faites pour fabriquer des fromages à partir de lait de dromadaire font état de difficultés majeures rencontrées pour réaliser la coagulation.

La première contrainte implique d'augmenter très fortement la concentration en présure par rapport à celle utilisée habituellement pour coaguler le lait de vache. Selon des observations déjà anciennes, il convient de multiplier de 50 à 100 fois la dose d'enzyme habituelle (Gast *et al.*, 1969; Wilson, 1984, Larsson-Raznikiewicz et Mohamed, 1986; Mohamed *et al.*, 1990). Des recherches récentes confirment que la coagulation par la présure est de 2 à 4 fois plus lente dans le lait de dromadaire que dans le lait de vache (Ramet, 1985; Farah et Farah-Riesen, 1985; Farah et Bachmann, 1987; Ramet, 1987; Mohamed *et al.*, 1990).

Ce comportement a été observé avec la plupart des préparations coagulantes utilisées pour coaguler le lait de fromagerie; toutefois il existe selon l'enzyme considérée, des écarts très importants sur l'effet d'inhibition de l'activité coagulante constatée dans le lait de dromadaire. Plusieurs observations (Ramet, 1985; 1990) ont montré que la pepsine bovine présente la meilleure affinité pour coaguler le lait de dromadaire; la présure de veau et la protéase coagulante de *Mucor miehei* présentent une affinité analogue, mais plus faible que celle de la pepsine bovine; la chymosine et la protéase coagulante de *Endothia parasitica* ont l'affinité la plus faible (fig. 2).

Des essais de coagulation réalisés dans des conditions homologues à l'aide de lait de vache reconstitué à partir d'une poudre "basse température" (pH 6,65) et de lait frais de dromadaire

(pH 6,55), ont montré une prolongation sensible des temps de floculation dans le lait de dromadaire par rapport à ceux observés dans le lait de vache, en présence de présure, de l'enzyme coagulante de *Mucor miehei*, de chymosine et de la protéase coagulante de *Endothia parasitica*. Inversement, en présence de pepsine bovine, le temps de floculation a été 5 fois plus court (tableau 10). Ce comportement original de la pepsine s'explique à la fois par son affinité plus grande pour le lait de dromadaire ainsi que par son activité limitée à pH voisin de la neutralité.

D'un point de vue plus général, il y a lieu de remarquer que certains nomades du Ahaggar semblent pouvoir réaliser des fromages à partir du lait de dromadaire, à condition d'utiliser exclusivement comme agent coagulant des morceaux d'estomac provenant d'un lapin du désert. (Gast *et al.*, 1969; Yagil, 1982); cet organe renferme comme chez tous les mammifères, de la pepsine (Lebas, 1991). Cette pratique paraît confirmer le statut privilégié de la pepsine pour coaguler le lait de dromadaire. En ce sens, des travaux récents réalisés en Egypte (El-Abassy, 1987; El-Batawy *et al.*, 1987) viennent de montrer que la pepsine provenant de l'estomac de dromadaire adulte pouvait être utilisée pour produire une préparation coagulante dans des conditions acceptables d'activité et de stabilité. Dans ce travail, il n'est toutefois pas fait mention de l'ensemble de l'aptitude fromagère de l'enzyme.

Une originalité de l'enzyme de *Mucor miehei* est de présenter en outre, lorsqu'elle est utilisée à faible concentration dans le lait de dromadaire, une inhibition partielle qui est révélée par la non-linéarité de la relation entre le temps de floculation et l'inverse de la concentration en enzyme (fig. 2). Ce phénomène, qui a été mis en évidence également dans le lait de vache, est dû à une complexation de la protéase coagulante avec les protéines solubles; cela nécessite, en pratique fromagère, de surdoser légèrement l'enzyme coagulante. L'effet inhibiteur disparaît après traitement thermique du lait dans des conditions de temps et de température correspondant à la pasteurisation (Ramet, 1985).

D'une manière plus générale, les différences d'affinité observées entre enzymes coagulantes peuvent être expliquées en partie par l'incidence particulière des facteurs de milieu (pH - température - environnement ionique, etc...) qui régulent l'activité enzymatique de chaque protéase coagulante; l'origine principale de cette disparité apparaît plus vraisemblablement consécutive à la présence d'inhibiteurs de protéases dans le lait de dromadaire et/ou à une structure spécifique des micelles de caséine qui pourrait limiter de manière sélective l'accessibilité de la protéase à la caséine Kappa. Il ne s'agit là que d'hypothèses qui restent à vérifier.

Enfin, il y a lieu de remarquer que paradoxalement, il ne semble pas exister, à notre connaissance, de pratique faisant état d'utilisation de l'estomac de jeunes dromadaires comme moyen de coaguler le lait, alors que l'usage d'estomacs de veau, de chevreau et d'agneau est très largement répandu dans les cultures pastorales traditionnelles. Par ailleurs, aucune étude n'apparaît avoir été entreprise pour identifier la nature des protéases coagulantes contenues dans les sécrétions stomacales du chamelon.

Formation et propriétés rhéologiques des gels obtenus

Les différentes observations réalisées pour fabriquer du fromage à partir de lait de dromadaire mentionnent la difficulté de mesurer précisément le début de la coagulation; l'appréciation empirique des propriétés physiques du lait lors de la phase de transition liquide-gel est peu aisée en raison de la persistance d'un pseudo-gel très diffus à l'état floconneux. La structuration ultérieure du gel reste très lente et peu prononcée. (Ramet, 1985; Farah et Bachmann, 1977; Ramet, 1991).

Ce comportement rhéologique particulier a été observé par des méthodes empiriques (Gast et al., 1969; Ramet, 1985; 1987; Mohamed et al., 1990) et également confirmé et quantifié par

plusieurs méthodes instrumentales appropriées. Les figures 3 et 4 reflètent les mesures effectuées à l'aide d'un gélographe et à l'aide d'un turbidimètre (Farah et Bachmann, 1987; Ramet, 1990; Bayoumi, 1990).

La texture du gel se caractérise en outre par une très faible élasticité et une grande friabilité; cette fragilité du gel est encore accrue lorsqu'il y a développement simultané de l'acidification par voie fermentaire (Ramet, 1987).

Ce comportement rhéologique original du coagulum du lait de dromadaire implique, en pratique fromagère, de procéder à des coagulations rapides pour éviter toute friabilisation excessive du gel consécutive au développement de l'acidification lorsque la technologie de fabrication du fromage comporte, lors de l'égouttage ultérieur, des opérations mécaniques énergiques.

Relations entre la composition du lait et son aptitude à la coagulation

L'aptitude limitée du lait de dromadaire à la coagulation par voie enzymatique a vraisemblablement pour origine principale la composition particulière des micelles de caséine. Plusieurs travaux récents ont en effet montré que la caséine Kappa, qui constitue la fraction de la micelle sensible à l'action des protéases coagulantes, possède une charge électrique différente de la caséine Kappa du lait de vache, ce qui entraîne une mobilité électrophorétique plus faible (Farah et Farah-Riesen, 1985; Jardali, 1988; Mohamed *et al.*, 1990).

Cette originalité de comportement est le reflet d'une composition très spécifique de la caséine qui a été mise en évidence dans des laits de dromadaire d'origine géographique variée. L'équilibre des fractions de caséine est très différent de celui du lait de vache: on note en particulier que la proportion de caséine Kappa est limitée (tableau 3) à 5 pour cent de la caséine totale alors qu'elle est de 13,6 pour cent pour le lait de vache (Jardali et Ramet, 1991).

Une seconde caractéristique originale de la caséine du lait de dromadaire est qu'elle se trouve sous forme de micelles de grande taille dont le diamètre moyen est environ le double (300 μm) de celui du lait de vache (160 μm) (Farah et Bachman, 1987; Jardali, 1988; Farah et Ruegg, 1989; Jardali et Ramet, 1991).

Le tableau 4 indique les valeurs mesurées dans des laits collectés dans des troupeaux ayant des origines génétiques et géographiques très différentes; malgré cette diversité, les valeurs mesurées sont homogènes, elles confirment le caractère très spécifique du lait de dromadaire.

Il convient de remarquer que des variations saisonnières de la composition et de la taille des micelles de caséine ont été également mises en évidence chez la vache, elles résultent d'interactions avec le milieu comme la température, la disponibilité alimentaire et le rythme nyctéméral. Ainsi, dans des laits de vache de grand mélange produits dans l'est de la France, une variation non négligeable de 150 à 250 μm de la taille moyenne des micelles a été enregistrée. En saison chaude, les micelles sont plus grosses; elles sont moins riches en caséine Kappa et présentent une aptitude à la coagulation réduite par rapport à celles des laits d'hiver, qui se traduit par des temps de coagulation par la présure plus longs et une fermeté moindre des gels obtenus (Scher, 1988). A l'inverse, en hiver les micelles, de taille réduite, présentent un taux élevé de caséine Kappa, coagulent plus rapidement sous l'action de la présure et génèrent des coagulums plus fermes (Ekstrand *et al.*, 1980; Niki et Arima, 1984; Scher, 1988).

L'ajout de la présure au lait de dromadaire entraîne une réaction de protéolyse de la caséine dont l'évolution peut être suivie par mesure du taux d'azote non protéique libéré (Farah et Bachmann, 1987; Mehaia, 1987). L'allure des courbes montre que la cinétique d'hydrolyse est comparable dans le lait de vache et le lait de dromadaire, bien que le taux de caséine Kappa des deux types de laits soit très différent.

Il semble par contre que la réaction secondaire, qui correspond à l'agrégation des micelles de caséine préalablement hydrolysées, se déroule d'une manière particulière dans le lait de dromadaire. Par microscopie électronique, il a été observé que dans le lait de vache, un réseau homogène de micelles de caséine existe déjà pour des valeurs de temps correspondant à 80 pour cent du temps de floculation visible. Dans le lait de dromadaire, l'association de micelles de caséine est plus tardive et le réseau formé est plus lâche et moins compact (Farah et Bachmann, 1987).

Il est vraisemblable que cette aptitude réduite à la polymérisation des micelles de caséine du lait de dromadaire résulte d'une faible potentialité du substrat à l'établissement de ponts calciques entre les micelles. On sait en effet, d'une manière générale, que les grosses micelles sont moins minéralisées que les petites (Scher, 1988) et qu'en particulier dans le lait de dromadaire recueilli en saison chaude, le taux de calcium insoluble lié à la caséine et colloïdal est plus faible (35 pour cent du calcium total) que dans le lait de vache (65 pour cent du calcium total) (Jardali, 1988), Par ailleurs, cette teneur en calcium diminue encore lorsque la disponibilité en eau pour l'animal est réduite (Yagil et Etzion, 1980).

Ce rôle majeur du calcium est corroboré par le fait qu'un enrichissement du lait de dromadaire en calcium ionique, susceptible d'établir les liaisons calciques entre particules, réduit considérablement le temps de floculation visible et renforce la rigidité des gels formés d'une manière plus marquée que dans le lait de vache (Ramet, 1985; 1987; Farah et Bachmann, 1987; Ramet, 1990).

On sait également que les propriétés rhéologiques du coagulum sont étroitement dépendantes de la teneur en matière sèche du lait; plus celle-ci est élevée, plus grande est la fermeté. Tous les composants de la matière sèche ne participent pas de la même manière à la formation du gel; le taux de caséine a le rôle majeur: plus il est important, plus la trame du réseau micellaire

constitué lors de la coagulation est dense, et plus les propriétés rhéologiques sont améliorées. La matière grasse a un rôle passif lors de la constitution du réseau de caséine; les globules gras se trouvent emprisonnés dans le maillage du gel, ils constituent des points de discontinuité et affaiblissent sa rigidité. Pour des teneurs en matière grasse comparables et lorsque les globules sont petits, la friabilité du gel est accrue par rapport à celle d'un coagulum renfermant des globules gras plus gros. Les substances solubles ne participent pas directement à la structuration du gel, elles n'influencent que très faiblement la viscosité du lactosérum dans les espaces intermicellaires du réseau protéique.

Dans le cas du lait de dromadaire, l'analyse montre que la teneur en matière sèche est assez variable selon l'origine des laits (tableau 2), il en est de même des teneurs en protéines et en matières grasses; les valeurs moyennes sont toutefois plus faibles que celles mesurées pour le lait de vache, elles expliquent la moindre qualité des gels formés notamment lorsque le lait est récolté en saison chaude et que les animaux subissent un stress hydrique qui accroît la teneur en eau du lait. Il a été noté que le passage d'un régime hydraté à un régime pauvre en eau fait chuter très sensiblement le taux de matière sèche totale de 14,3 pour cent à 8,8 pour cent; dans les mêmes conditions le taux de protéines diminue de 4,6 à 2,5 pour cent et celui de matière grasse est abaissé de 1,3 à 1,1 pour cent (Yagil et Etzion, 1980)

La taille réduite des globules gras du lait de dromadaire, qui est comprise entre 1,2 et 4,2 μm (Dong Wei, 1980; Knoess *et al.*, 1986) alors qu'elle est de 1 à 10 μm dans le lait de vache, (Ramet, 1985) explique également la moindre fermeté des gels. Le comportement du lait de dromadaire est en ce sens voisin de celui d'un lait de vache ayant subi une homogénéisation préalable de son émulsion de matière grasse.

2.1.2 Coagulation par voie acide

Composition du lait et aptitude à l'acidification par voie fermentaire

La coagulation par voie acide du lait de dromadaire est conditionnée par son aptitude à l'acidification par voie fermentaire à l'aide des bactéries lactiques présentes naturellement dans le lait et/ou de celles inoculées de manière dirigée sous forme de cultures encore appelées ferments lactiques (Ramet, 1985).

Le lait, grâce à sa teneur élevée en eau, à la variété des substances nutritives qu'il contient et à son pH initial proche de la neutralité, constitue généralement un milieu favorable à la multiplication des micro-organismes y compris à celle des bactéries lactiques.

La disponibilité en lactose du lait de dromadaire est très variable; la teneur peut varier de 2,9 à 5,8 pour cent selon l'origine des laits et les conditions d'abreuvement (Yagil et Etzion, 1980). Malgré cette variation, et compte tenu du potentiel fermentaire de la plupart des bactéries lactiques qui est limité le plus souvent à une production d'acide lactique maxima de 1,0 à 1,2 pour cent, la disponibilité en lactose reste toujours suffisante même en cas d'acidification très poussée. En ce qui concerne la nutrition azotée, aucune étude précise ne permet de dire s'il y a adéquation entre les besoins azotés des bactéries lactiques et la composition du lait de dromadaire.

Il ressort par contre de l'étude bibliographique que le lait cru de dromadaire possède différents systèmes antimicrobiens susceptibles de limiter la prolifération microbienne plus fortement que les laits d'autres espèces domestiques: ces systèmes sont probablement à l'origine des propriétés réputées fortifiantes et thérapeutiques du lait de dromadaire et largement admises par les nomades (Yagil, 1982; Ramet, 1987). En particulier, des teneurs élevées en Lysozyme (Barbour *et al.*, 1984) et en vitamine C (Kon, 1972; Knoess, 1979; Yagil, 1982; Yagil *et al.*, 1984) ont été mesurées.

Il semble également que la phase de bactériostase temporaire, qui entraîne une moindre propension à l'acidification spontanée dans les premières heures suivant la traite, soit supérieure dans le lait de dromadaire à celle observée pour le lait de vache (fig. 5); leurs durées se situent respectivement de 4 à 6 heures et de 2 à 6 heures (Ramet, 1985; 1987).

Aucune donnée n'existe à l'heure actuelle sur l'importance des deux systèmes enzymatiques antimicrobiens majeurs du lait cru représentés par la lactoperoxydase et la lactoferrine. (Monnom *et al.*, 1989; IDF, 1991).

Une autre caractéristique originale du lait de dromadaire est son pouvoir tampon qui apparaît un peu plus important que pour le lait de vache: celui-ci pourrait également contribuer à expliquer la relative lenteur de l'acidification observée (fig. 6) en présence de plusieurs souches de bactéries lactiques homo-et hétérofermentaires (Rao *et al.*, 1970; Ramet, 1985; 1987; Farah *et al.*, 1990).

Formation et propriétés rhéologiques des gels lactiques

Dans le lait de vache, l'acidification s'accompagne d'une neutralisation progressive de la charge électro-négative des micelles de caséine qui conduit à l'apparition d'un coagulum; le point de coagulation se manifeste d'autant plus tôt et à des valeurs basses de l'acidité que la température est élevée; par exemple: à 25°C la floculation intervient à une acidité de 0,4 à 0,5 pour cent (Veisseyre, 1975; Ramet, 1985). Dans le lait de dromadaire soumis à acidification, il n'est pas possible de mettre en évidence avec précision un point de début de coagulation acide; il n'y a pas non plus formation d'un coagulum véritable. Le milieu reste de structure floconneuse et s'apparente plus à un précipité; celui-ci tend à décanter lentement avec séparation d'un surnageant très blanc constitué par le lactosérum (Ramet, 1985; 1987; Farah *et al.*, 1990).

2.2 Aptitude à l'égouttage

2.2.1 Propriétés des gels et synérèse

L'aptitude à l'égouttage des gels formés est directement conditionnée par les propriétés rhéologiques observées après la phase de durcissement du coagulum qui suit la coagulation et en particulier par la dureté ou fermeté du gel et par son élasticité.

L'extrême fragilité des coagulums de lait de dromadaire entraîne une destruction du gel lors des opérations mécaniques du tranchage et du moulage. De ce fait, une grande partie de la matière sèche du lait n'est pas retenue dans le fromage et est perdue dans le lactosérum; le taux de récupération est limité à environ 30 pour cent, alors qu'il se situe au voisinage de 50 pour cent pour des fabrications homologues au lait de vache et à plus de 68 pour cent pour le lait de brebis connu comme le lait le plus apte à la fabrication fromagère (Ramet, 1990).

L'égouttage du coagulum au lait de dromadaire est caractérisé par une synérèse très rapide par rapport au comportement des gels de lait de vache. La figure 7 illustre la différence d'allure dans l'expulsion d'un lactosérum, observée à partir d'un coagulum de même type obtenu par voie acide dominante (Ramet, 1987). Cette situation apparaît consécutive à un faible pouvoir de rétention d'eau par le coagulum au lait de dromadaire résultant de sa teneur relative limitée en caséine. De plus, la pauvreté de la micelle en caséine Kappa très hydrophile, ainsi que sa surface spécifique, réduite en raison de sa voluminosité élevée, réduisent sensiblement les capacités d'hydratation des gels correspondants (Jardali, 1988; Scher, 1988). Il convient de remarquer que des relations très significatives analogues ont été observées en analysant de manière fine les variations saisonnières de composition de la micelle de caséine du lait de vache. En été, les micelles de caséine sont plus grosses, plus pauvres en caséine Kappa, et les coagulums obtenus présentent un pouvoir de rétention d'eau plus faible qu'en saison froide

(Scher, 1988).

L'acidification du lactosérum en cours d'égouttage apparaît un peu plus lente lorsqu'il est issu de coagulum au lait de dromadaire que lorsqu'il provient de gel au lait de vache (Ramet, 1985; 1987). Cette cinétique différente pourrait résulter des différents facteurs entraînant une moins bonne aptitude à la fermentation lactique (voir ci-dessus par. 2.1.2).

2.2.2 Composition des lactosérums

La composition du lactosérum du lait de dromadaire se caractérise par une teneur en matière sèche totale en général un peu plus élevée que celle du lait de vache, soit 7 pour cent et 6,5 pour cent respectivement, alors qu'à l'inverse les extraits secs des laits sont souvent plus faibles pour le lait de dromadaire que pour le lait de vache (Ramet, 1987; Ramet et Kamoun, 1989; Kamoun et Bergaoui, 1989). Il y a lieu de remarquer que le taux de matière grasse est particulièrement important et se situe à une valeur 3 à 4 fois supérieure à celle mesurée dans le lactosérum de fromages homologues fabriqués au lait de vache, soit 0,3 et 1,3 pour cent respectivement; il correspond à plus de 60 pour cent de la quantité de matière grasse présente dans le lait (Ramet, 1989; Mohamed, 1990). La faible dimension des globules gras du lait de dromadaire et leur étroite liaison au réseau protéique très friable constituant le coagulum, expliquent les fortes pertes observées (Rao *et al.*, 1970).

L'aspect du lactosérum provenant du lait de dromadaire est de couleur blanche très marquée contrairement au sérum de lait de vache qui possède un aspect verdâtre (Ramet, 1989; Ramet et Kamoun, 1989; Mohamed *et al.*, 1990). Il est vraisemblable que cette caractéristique soit consécutive à la charge importante du lactosérum en particules (agrégats protéiques et globules gras); celles-ci provoquent des phénomènes complexes de diffraction et réflexion de la lumière qui, on le sait, sont à l'origine de la couleur blanche.

Il se pourrait également que la teneur en riboflavine, qui est responsable de la couleur verte caractéristique du lactosérum (Webb *et al.*, 1974), et qui est plus faiblement représentée dans le lait de dromadaire que dans le lait de vache, intervienne de manière déterminante.

2.3 Aptitude à l'affinage des fromages au lait de dromadaire

Il n'existe qu'un nombre très limité d'observations relatives à l'affinage de fromages faits au lait de dromadaire; toutes ont été réalisées à partir de fabrications expérimentales, elles ne permettent de dégager que des tendances.

Pour les fromages à humidité élevée (80–85 pour cent) de types pâtes fraîches obtenus par coagulation acide dominante, la qualité des produits a été jugée satisfaisante; la texture onctueuse a été appréciée; le goût acidulé caractéristique a été jugé satisfaisant (Ramet, 1987). Pour des fromages à extrait sec plus élevé (20–30 pour cent), des caractéristiques voisines ont été notées; certains dégustateurs ont remarqué une texture légèrement rugueuse et crayeuse qui peut s'expliquer par le taux réduit de matière grasse existant dans la pâte par suite des pertes très élevées dans le sérum, ainsi que par la capacité d'hydratation limitée de la caséine. Le fromage possède donc de ce fait des caractéristiques physiques proches de celles de fromage au lait partiellement écrémé. Ces mêmes défauts de texture granuleuse et cassante ont été également retrouvés par ailleurs dans des fromages à pâte pressée non cuite et à pâte dure (Ramet et Kamoun, 1988; Mohamed *et al.*, 1990). Cette observation confirme une notion bien connue en fromagerie, qui indique que le risque de défaut, dû à un manque d'onctuosité de la pâte, s'accroît lorsque les teneurs en eau et en matière grasse du fromage diminuent.

Un second défaut de texture parfois relevé, concerne un caractère très collant de la pâte. Lors de la mastication, le fromage tend à adhérer fortement dans la bouche: cette sensation se maintient après déglutition et s'apparente à une impression de persistance d'un film de matière

grasse sur les différentes parois de la cavité buccale. Aucune relation précise n'a pu être avancée jusqu'ici pour expliquer l'origine du défaut; on sait toutefois que la composition de la matière grasse du lait de dromadaire se caractérise par une teneur élevée en acides gras à courtes chaînes (Jardali, 1988); de ce fait, les points de fusion et de solidification de la phase grasse sont très élevés et se situent respectivement à 41,9°C et 30,5°C contre 32°C et 22,8°C pour le lait de vache (Abu Lehia, 1987); il est donc vraisemblable que l'état d'équilibre physique de l'émulsion de matière grasse soit déterminant dans la genèse du phénomène du collage.

L'apparition de goût amer a été notée de manière transitoire ou permanente dans plusieurs fabrications de fromages (Ramet, 1987; Ramet et Kamoun, 1988). La plupart du temps, le défaut ne devient perceptible qu'après déglutition du bol alimentaire d'où la qualification fréquente d'arrière-goût amer; cette perception tardive de l'amertume est liée à l'implantation particulière des cellules sensorielles sensibles aux saveurs amères sur la partie supérieure et postérieure de la langue.

On sait que les substances susceptibles de provoquer des goûts amers n'appartiennent pas exclusivement à une famille chimique donnée. Dans les produits laitiers, les causes sont variées et sont attribuées, soit à la présence de sels de calcium et de magnésium apportés lors du salage par du chlorure de sodium insuffisamment purifié, soit à l'accumulation de certains peptides issues de la protéolyse de la caséine, soit à la présence d'alcaloïdes provenant de l'ingestion par l'animal de certaines plantes. La cause la plus fréquente d'amertume est liée à la formation de peptides amers qui apparaissent lorsque l'activité protéolytique, due aux enzymes coagulantes résiduelles fixées dans la pâte est élevée, et lorsque le pH du fromage est acide. Or, dans le fromage de dromadaire, la quantité d'enzyme coagulante retenue est probablement importante en raison de la nécessité pratique de surdoser l'enzyme pour obtenir la coagulation dans des délais acceptables; elle induit un risque non négligeable d'accumulation de peptides amers.

2.4 Produits dérivés du lactosérum

2.4.1 Fromages de lactosérum

La production de fromages de sérum obtenus par thermocoagulation des protéines solubles contenues dans le lactosérum provenant de lait de dromadaire n'apparaît pas possible. En effet, lorsqu'on chauffe le lactosérum, des agrégats de protéines dénaturées apparaissent à des températures allant de 72 à 80° C (Ramet, 1987; Mohamed *et al.*, 1990); ces agrégats restent toutefois très petits et isolés et ne se rassemblent pas en amas plus gros pendant le chauffage.

Après repos à température ambiante pendant 10 à 16 heures, trois phases deviennent visibles: un surnageant constitué de protéines et de matière grasse, un léger précipité blanc décanté en partie basse, une importante strate intermédiaire constituée de sérum limpide; leur prélèvement séparé par des moyens classiques de filtration est inefficace en raison de leur faible différence de densité et seule la centrifugation permet de les séparer aisément (Ramet, 1987; 1990). Les différentes alternatives apportées au procédé de base (acidification par acide lactique et acide citrique, addition de chlorure de calcium et de chlorure de sodium, ajout de 30 pour cent de lait de chamelle) n'ont pas permis d'améliorer la collecte des particules de protéines formées (Ramet, 1990).

Ce comportement original du lactosérum de lait de dromadaire pourrait s'expliquer par certaines de ses particularités de composition. Il ressort en effet de travaux récents que la proportion et les propriétés des principales protéines sériques sont différentes de celles rencontrées dans les sérums des laits des autres mammifères les plus couramment exploités pour la production de lait (Abdo *et al.*, 1987). En particulier, il a été mis en évidence dans le lait de dromadaire deux types de α -lactalbumines (Conti *et al.*, 1985) ainsi qu'une protéine originale

(Beg *et al.*, 1987); par contre, la présence de β -lactoglobuline est controversée. Il a été montré également que la stabilité à la chaleur des protéines sériques du lait de dromadaire était supérieure à celle du lait de vache (Farah, 1986). Enfin, il a été établi que lors d'un chauffage sévère comme celui pratiqué lors du chauffage du lactosérum, il y a dans le lait de vache formation d'un complexe entre la β -lactoglobuline et la caséine Kappa qui contribue efficacement à la formation des agrégats protéiques de grande taille (Zittle *et al.*, 1962); la pauvreté du lait de dromadaire en caséine Kappa pourrait être à l'origine d'une réaction limitée et entraîner les difficultés rencontrées.

Enfin, il n'est pas exclu que la teneur particulièrement élevée du sérum de lait de dromadaire en matière grasse influence, de manière négative par son incidence sur la tension superficielle du milieu, la coalescence des particules protéiques, qui au lieu de s'associer, restent très dispersées.

2.4.2 Beurre de lactosérum

En raison de la teneur particulièrement élevée en matière grasse des lactosérums issus du lait de dromadaire, on peut se demander s'il est possible de fabriquer du beurre de lactosérum comme cela peut se pratiquer à partir de certains lactosérums de lait de vache riches en matière grasse.

En se référant à l'analyse bibliographique, il apparaît que la possibilité de faire du beurre à partir du lait de dromadaire est très controversée. Pour beaucoup de nomades, cette transformation n'est pas possible (Dickson, 1951; Wilson, 1984) alors que d'autres auteurs donnent un avis plus nuancé et font état de produits fabriqués dans des conditions assez satisfaisantes (Knoess, 1986; Yagil, 1982). Des recherches très récentes ont confirmé une faisabilité qui reste toutefois plus délicate que pour le lait de vache (Farah *et al.*, 1989; Ramet,

1990).

Ces difficultés semblent résulter de l'état particulier des globules gras qui sont de petite taille et possèdent une enveloppe membranaire importante (Knoess *et al.*, 1985; Rao *et al.*, 1970). De ce fait, la résistance mécanique des globules est vraisemblablement accrue: celle-ci entraîne, lors du barattage, un temps d'agitation très long de l'ordre de 5 heures lorsqu'on traite le lait directement (Ramet, 1990). Si on réalise une acidification préalable du lait à pH 5,0, le caractère hydrophile des globules gras est réduit et la durée de l'opération peut être limitée à 1–2 heures. La concentration préalable de la phase grasse sous forme de crème par voie centrifuge à l'aide d'écrémeuse classique est plus difficile que pour le lait de vache en raison de la faible dimension des globules, ce qui nécessite de pratiquer une double centrifugation si on veut concentrer la matière grasse à une teneur de 20–30 pour cent. L'agitation de la crème conduit à une diminution sensible du temps nécessaire à la formation des grains de beurre; ce temps est compris entre 5 et 45 minutes selon la température appliquée (Farah *et al.*, 1989; Ramet, 1990) lorsqu'on traite une crème douce; après acidification préalable de la crème, on note une réduction non négligeable des temps de barattage mais les rendements en matière récupérée diminuent (fig. 8).

Une autre particularité de la matière grasse du lait de dromadaire est de posséder une composition en acides gras originale qui se caractérise par une faible proportion des acides gras à courtes chaînes et une proportion élevée en acides palmitique et stéarique.

Le tableau 4 indique les valeurs publiées par différents auteurs. Cette composition spécifique de la matière grasse induit des points de fusion et de solidification de la matière grasse du lait de chamelle significativement différents de ceux du lait de vache; ces valeurs sont respectivement de 41, 4°C - 41, 9°C et 30, 5°C contre 28°C - 32°C et 22,8°C pour le lait de vache (Abu-Leiha, 1987; Farah *et al.*, 1989). Il convient toutefois de noter que ces valeurs

correspondent à des observations ponctuelles et qu'il convient de les nuancer compte tenu d'interactions possibles des facteurs alimentaires et saisonniers sur la composition en acides gras de la matière grasse; chez la vache, des écarts moyens de 4 à 10° C sont relevés pour les indices précités en climat tempéré entre saison chaude et saison froide.

En pratique beurrière, la maîtrise de la température est essentielle car elle conditionne l'état physique de la phase grasse; si la température est trop basse, l'ensemble du globule gras est à l'état cristallisé; la libération d'une petite fraction de matière grasse liquide nécessaire à réaliser la coalescence des globules gras pour former le grain de beurre ne se fait pas et conduit à l'absence de formation d'un grain de beurre. Inversement, si la température est trop élevée, l'ensemble de la matière grasse est sous forme liquide, le beurre formé est très mou et une fraction non négligeable est perdue sous forme d'huile dans le babeurre.

L'importance de ce facteur température a été confirmée dans un travail réalisé au Kenya qui a montré qu'à la température de 10 à 12° C, habituellement observée pour baratter la crème de lait de vache, la formation de grains de beurre ne se fait pas et qu'au-dessus de 36°C, le rendement en beurre commençait à diminuer; les conditions optima du barattage ont été trouvées à 25°C avec une crème titrant 22,5 pour cent de matière grasse et une durée d'agitation de 11 minutes (Farah *et al.*, 1989).

Au plan organoleptique, le beurre issu du lait de dromadaire se caractérise par sa couleur très blanche (Farah *et al.*, 1989; Ramet, 1990); celle-ci résulte vraisemblablement de la présence d'un non-gras important composé de protéines résiduelles difficilement dissociables de la phase grasse et d'eau capillaire retenue entre les grains de beurre (Ramet, 1990). La texture du produit se distingue, à la coupe et à la dégustation, par un caractère collant et grassex (Farah *et al.*, 1989; Ramet, 1990). Son goût et son odeur sont neutres et peu typés.

Ces considérations générales sur la fabrication de beurre ne permettent, en l'absence d'essais pratiques particuliers dans ce domaine, que d'avancer quelques hypothèses sur la faisabilité de fabriquer du beurre à partir de lactosérum. La matière grasse de lactosérum diffère principalement de la matière grasse de lait et de crème par un état globulaire plus altéré consécutif aux actions mécaniques et chimiques subies pendant les phases de préparation, de coagulation du lait et pendant l'égouttage. Par voie de conséquence, les temps techniques de barattage de crème de lactosérum et les pertes en matière grasse libre pourraient être plus importants que lors du traitement de crème provenant directement du lait. La qualité organoleptique et l'aptitude à la conservation du beurre de lactosérum devraient être moins bonnes que pour le produit issu directement du lait frais.

2.4.3 Boissons à base de lactosérum

Le lactosérum entier, écrémé ou partiellement déprotéiné ainsi que le babeurre de sérum, peuvent être valorisés avantageusement sous forme de boissons. Ils possèdent une haute valeur nutritionnelle due en particulier à la présence des protéines lactosériques riches en acides aminés essentiels, de sels minéraux et de lactose. Lorsque le sérum a subi une acidification, la teneur en lactose réduite permet de remédier à l'intolérance rencontrée chez certains individus. Les propriétés organoleptiques du lactosérum sont satisfaisantes; sa saveur est douce ou plus acide selon l'acidité développée, on lui reproche parfois un goût lacté qui peut être facilement masqué par un ajout de concentrés de jus de fruits acides. En raison de la couleur opalescente du sérum et de la présence possible d'un précipité de protéines, il est préférable d'utiliser des jus troubles renfermant naturellement de la pulpe comme les jus d'agrumes. En raison de leur pH voisin de 3,5 ces jus confèrent au lactosérum une protection par voie acide complémentaire vis-à-vis du développement de la plupart des micro-organismes indésirables et une saveur typique et rafraîchissante très appréciée.

La consommation doit intervenir dans un délai de 2 à 3 jours; pour une conservation plus longue, il est nécessaire de pratiquer une préservation supplémentaire par pasteurisation.



III. MOYENS D'AMELIORATION DE L'APTITUDE FROMAGERE DU LAIT DE DROMADAIRE

3.1 Sélection d'un lait de bonne qualité

Pour réaliser la fabrication fromagère dans de bonnes conditions, le lait doit répondre à un certain nombre de critères de qualités physico-chimique et microbienne. Ces exigences, qui possèdent un caractère général applicable à tous les types de laits destinés à la consommation humaine, ont été largement détaillées dans des publications spécialisées; le lecteur pourra s'y référer utilement pour obtenir de plus complètes informations sur le contrôle de la qualité, les méthodes de collecte et de conservation du lait (Ramet, 1985; Scott, 1986; Robinson, 1990; Weber, 1985; Lambert, 1988; IDF, 1990).

Nous nous bornerons à ne rappeler ici, que les points d'intérêt majeur :

3.1.1 Elimination des laits anormaux

Le lait doit être obtenu uniquement à partir d'animaux sains. Le lait provenant de femelles malades (mammite-brucellose) contient des bactéries risquant d'être dangereuses pour la

santé du consommateur; il renferme souvent par ailleurs des traces d'antibiotiques lorsque les animaux sont traités à l'aide de ces médicaments, leur effet peut persister dans le lait et gêner en particulier le développement des bactéries lactiques lors de la transformation ultérieure en produits laitiers fermentés et en particulier en fromages.

Les laits colostraux sécrétés en début de lactation possèdent une composition spécifique (pauvreté en caséine - teneur élevée en minéraux) qui les rend impropres à la transformation en fromage. Ils ne doivent pas être mélangés au lait de fabrication pendant les 1 à 2 semaines suivant la mise bas.

Les laits de dromadaire provenant d'animaux subissant un stress hydrique important se caractérisent par une très faible teneur en matière sèche; ils sont peu aptes à la transformation en fromage et doivent si possible être utilisés en mélange à des laits de dromadaire et/ou d'autres espèces ayant une meilleure aptitude fromagère.

3.1.2 Maîtrise de la qualité microbienne

Les vecteurs potentiels de contamination du lait sont nombreux et variés: animaux malpropres, mamelles souillées, vaisselle laitière contaminée, vêtements et mains du trayeurs sales, récipients de collecte et de stockage du lait mal nettoyés et désinfectés. L'observation de pratiques hygiéniques est donc indispensable pour optimiser la qualité du lait et par voie de conséquence celle des produits laitiers dérivés.

Les règles à observer pour obtenir un lait de bonne qualité microbienne sont les suivantes :

- l'extérieur de la mamelle est souvent fortement souillé par la litière ou des excréments; un nettoyage préalable à la traite est donc indispensable; celui-ci peut être réalisé à sec à l'aide d'une serviette en papier à usage unique ou à l'aide d'un linge à usage multiple**

préalablement trempé dans une solution désinfectante, tiède; la mamelle doit ensuite être séchée.

- **Les premiers jets de lait provenant de chaque quartier de la mamelle sont toujours plus fortement chargés en germes; il y a lieu de les collecter séparément et de ne pas les mélanger au lait recueilli ultérieurement.**
- **une contamination microbienne peut être également provoquée par le trayeur lorsque celui-ci ne possède pas la technique requise. Les précautions suivantes sont nécessaires pour l'obtention d'un lait de bonne qualité:**
- **choisir une personne en bonne santé et ne présentant pas de plaies sur les mains;**
- **se laver soigneusement et se sécher les mains avant la traite;**
- **ne pas toucher les matériels (manchons trayeurs-vaisselle laitière) avec des mains souillées;**
- **pratiquer un nettoyage et une désinfection rigoureux de tous les matériels en contact avec le lait;**
- **réaliser la traite dans un local propre, clair, exempt de poussières, d'insectes, de fumier, d'eaux stagnantes, etc.**
- **assurer une réfrigération rapide du lait (0-4° C), si la transformation ou la consommation n'intervient pas dans les 5–8 heures suivant la collecte. Il faut souligner que, même à basse température ($\leq 7^{\circ}$ C), diverses bactéries, dites psychrotrophes, peuvent se développer; la durée totale de conservation au froid d'un lait cru ne devrait donc pas**

excéder 24–48 heures.

Les surfaces qui entrent en contact avec le lait et ses dérivés doivent être nettoyées, puis désinfectées efficacement. Par sa composition, le lait constitue un substrat très favorable au développement microbien. Il convient d'insister et de rappeler le caractère très rapide de toute prolifération bactérienne: la durée de multiplication des germes est de l'ordre de 20–30 minutes en moyenne lorsque les conditions de milieu sont optimales (T : 25–35° C, pH : 6,65, humidité > 85 pour cent).

Idéalement, les règles générales à appliquer pour les opérations manuelles de nettoyage et de désinfection sont les suivantes:

- **Rinçage des surfaces souillées à l'eau froide ou tiède; faire tremper les matériels si le nettoyage ne peut être effectué immédiatement après usage.**
- **Préparation d'une solution détergente alcaline à l'aide d'une lessive non agressive pour la peau, adaptée au lavage manuel, concentration: 0,5–1 pour cent, température 40–45° C. Faire tremper les matériels souillés ou humecter les surfaces à nettoyer pendant 5–10 minutes. Brosser vigoureusement à l'aide d'une brosse à poils durs (nylon) jusqu'à élimination des dépôts.**
- **Rinçage final à l'eau potable pour éliminer les dépôts résiduels et les traces de détergents.**
- **Séchage rapide à l'air sec et conservation à l'abri de l'humidité, de la poussière et des insectes jusqu'à utilisation suivante.**
- **Avant toute réutilisation du matériel; désinfection par immersion dans une solution chlorée: concentration: 250 mg Cl/l, température: ≤ 40° C, temps: 10–20 minutes.**

- **Rinçage à l'eau potable pour éliminer tout résidu de chlore pouvant contaminer le lait ou les produits laitiers.**

Il convient de souligner que:

- **La plupart des détergents alcalins et désinfectants sont agressifs vis-à-vis de l'aluminium et des alliages (aluminium) notamment à haute température; ils provoquent corrosion ou noircissement du métal. Ne laisser les solutions respectives en contact que pendant les temps précisés ci-dessus et pas au-delà.**

L'acier inoxydable est insensible aux détergents même à haute température; par contre, il est agressé par le chlore au-dessus de 45° C. A chaud, les solutions chlorées perdent leur efficacité germicide par dégagement de chlore gazeux.

- **L'application de concentrations en détergents et désinfectants inférieures aux normes précitées ainsi que l'utilisation de températures et de temps de contact plus faibles peuvent entraîner, outre une élimination imparfaite des souillures, l'émergence de souches microbiennes résistantes aux agents actifs.**
- **L'usage d'une eau douce ou adoucie pour la préparation des solutions et le rinçage est préférable à celui d'une eau dure.**
- **Les solutions commerciales désinfectantes à base de chlore renferment de l'hypochlorite de sodium, leur concentration en chlore actif est exprimée en degrés chlorométriques (12 à 50° Cl selon la concentration).**

1 degré chlorométrique = 3,17 g chlore/l.

3.2 Préparation du lait

3.2.1 Traitement thermique

Le lait cru renferme toujours une population de micro-organismes dont l'importance et la variété dépendent principalement de l'état sanitaire de l'animal, des conditions hygiéniques observées lors de la traite, de la collecte du lait, de la durée et de la température de conservation. (Ramet, 1985; I.D.F., 1990). Dans cet ensemble, plusieurs catégories de germes sont redoutés dans la mesure où ils peuvent transmettre des maladies à l'homme (germes pathogènes) ou provoquer au plan technique des accidents de fabrication (germes producteurs de gaz à germes protéolytiques et lipolytiques). Selon leur gravité, ces accidents se manifestent en perturbant le cycle de fabrication, en provoquant l'apparition de défauts organoleptiques dans le fromage (gonflements, textures indésirables, saveur amère ou rance) ou conduisent à l'obligation de détruire le produit fini.

Le lait cru renferme également une proportion variable de bactéries lactiques dont la présence est souhaitable pour la transformation en fromage, car elles sont responsables de l'acidification qui est recherchée pour assurer l'égouttage et la protection acide du coagulum.

Cette acidification naturelle du lait est toutefois très variable en vitesse et en intensité car elle est sous la dépendance de plusieurs facteurs qui ne sont pas constants dans le temps; de ce fait, ces fabrications se caractérisent par leur irrégularité tant au niveau du procédé que de la qualité des fromages obtenus. Le traitement thermique préalable du lait apparaît, là aussi, utile pour niveler cette hétérogénéité; il implique par contre de pratiquer ultérieurement un ajout dirigé en bactéries lactiques qui est effectué avant la phase de coagulation sous forme de ferments lactiques. Par ses conséquences hygiéniques et techniques très favorables, l'usage d'un traitement thermique préalable du lait de dromadaire peut donc apparaître souhaitable.

Des essais réalisés dans le Sud de la Tunisie (Ramet, 1987) ont montré que des conditions de chauffage égales ou supérieures à celles d'une thermisation (62°C - 1 minute) permettaient d'assurer une stabilisation microbienne du lait de dromadaire et d'éviter les gonflements accidentels du coagulum (tableau 11). En revanche, les résultats indiquent que l'aptitude à la coagulation et à l'égouttage est altérée lorsque le chauffage est pratiqué dans des conditions plus sévères. On note, en particulier, une prolongation des temps de floculation, une diminution de la fermeté du gel ainsi qu'un accroissement de sa friabilité. Des évolutions analogues ont été mises en évidence après chauffage du lait de vache; elles sont dues à plusieurs modifications chimiques importantes; le retard à la coagulation s'explique par une formation d'un complexe entre caséine Kappa et β -lactoglobuline ainsi que par une insolubilisation du calcium qui réduit la réactivité à la coagulation enzymatique (Webb *et al.*, 1974; Ramet, 1985).

Une autre conséquence du chauffage est une diminution très importante de l'aptitude à l'égouttage (fig. 9). Ces modifications des propriétés du coagulum résultent principalement de la dénaturation thermique des protéines sériques dont la capacité d'hydratation est fortement accrue; il s'ensuit une fragilisation et une rétention d'eau corrélative plus importantes du coagulum; parallèlement, les pertes en matière sèche dans le lactosérum augmentent légèrement par accumulation de fines particules de caillé engendrées par la friabilité du gel (tableau 11).

Au vu de ces résultants, il apparaît nécessaire, pour éviter de réduire l'aptitude à la coagulation et à l'égouttage du lait de dromadaire, de moduler le traitement thermique en fonction de l'extrait sec final souhaité dans le fromage à la fin de l'égouttage. Le lait destiné à la fabrication de fromage humide pourra être chauffé selon un barème correspondant à une pasteurisation basse, soit entre 72 et 75° C - 15–30 secondes, alors que pour les fromages plus secs de types pâtes molles, pâtes pressées et pâtes dures, il conviendra de pratiquer une simple

thermisation, soit 62° C - 1 minute.

Il y a lieu de souligner que ces conclusions résultent d'observations faites en traitant un lait produit en période très chaude (juin-juillet 1987) par des animaux tenus en élevage extensif traditionnel sur des parcours naturels et comportant un seul abreuvement tous les 8–10 jours; par suite de ce stress hydrique, le taux de matière sèche totale (9,4 pour cent) dont 2,7 pour cent de matière grasse, était particulièrement bas et de ce fait peu adapté à la fabrication fromagère. Les recommandations du traitement thermique précisées ci-dessus peuvent donc vraisemblablement être corrigées à la hausse pour des laits présentant une matière sèche supérieure; dans ces conditions, il apparaîtrait possible, comme cela se pratique avec le lait de vache, d'améliorer le rendement fromager par récupération des protéines sériques dénaturées sans pour autant induire la formation de gels tardifs, friables et trop hydratés. Des expérimentations complémentaires sont nécessaires pour préciser l'adéquation du traitement thermique de la matière première avec les autres contraintes de la fabrication fromagère, en particulier celles attachées aux exigences de rendement et de qualité organoleptique des produits finis.

- **Avant d'effectuer le traitement thermique du lait, il est impératif de contrôler son acidité (méthode DORNIC ou pH); en effet, tout lait acide risque de coaguler sous l'effet de la chaleur; il convient de ne pas chauffer un lait dont l'acidité dépasse 22° D et dont le pH est inférieur à 6,50.**
- **Si l'acidité est supérieure ou égale à ce seuil, il y a lieu de procéder à une neutralisation de l'acidité par de la soude, sachant que 40 g de soude permettent de neutraliser 90 g d'acide lactique.**

Exemple d'application:

On possède 100 litres de lait acide à 30° D dont on veut amener l'acidité à 16° D. Sachant que 1° D est égal à 0,1 g d'acide lactique/litre, il faudra pour neutraliser les 100 litres de lait acide:

$$(30^\circ - 16^\circ) \times 100 \text{ l} = 1\,400^\circ \text{ D} = 140 \text{ g d'acide lactique}$$

La quantité de soude nécessaire sera:

$$\frac{40 \times 140}{90} = 62,2 \text{ g}$$

- **Diluer cette soude dans 500 ml d'eau.**
- **Ajouter au lait en agitant.**
- **Contrôler à nouveau l'acidité avant le chauffage.**

3.2.2 Correction de la teneur en matière grasse

La composition macroscopique d'un fromage est définie le plus souvent par sa teneur en matière sèche totale ou extrait sec, et par sa teneur en matière grasse.

La première est définie par le poids du résidu sec obtenu après évaporation totale de l'eau contenue dans 100 g de fromage. La seconde est mesurée en particulier par la méthode butyrométrique (Fox, 1987; Lambert, 1988) et s'exprime en pourcentage de poids sec du fromage. Ainsi par exemple un produit dont l'extrait sec total (E.S.T.) et la matière grasse (M.G.) sont chacun de 50 pour cent présente en réalité une teneur en M.G. de 25 g pour 100 g de fromage.

En pratique, pour les fromages de composition définie, il y a lieu d'ajuster exactement ces caractéristiques pour leur conférer des propriétés organoleptiques aussi régulières que possible, mais également de les rendre conformes aux normes réglementaires lorsqu'une

législation existe.

L'ajustement de la teneur en M.G. se fait en réglant la teneur en M.G. du lait avant coagulation; l'ajustement de la teneur en matière sèche est obtenu ultérieurement en maîtrisant les différents facteurs qui régulent l'égouttage et l'affinage du coagulum (Ramet, 1985; Robinson, 1990).

La standardisation du lait de fromagerie consiste à régler la teneur en matière grasse du lait de fabrication de façon à ajuster celle du fromage. Dans la plupart des cas, la matière grasse du lait frais est trop élevée pour obtenir des fromages ayant une teneur en matière grasse moyenne, d'où la nécessité d'écrémer partiellement la matière première.

Cette opération peut être réalisée soit en continu par écrémage partiel du lait par voie centrifuge ou par voie manuelle (Lambert, 1988; Robinson, 1990), soit en discontinu par mélange en cuve de lait entier et de lait écrémé.

La détermination de la teneur en matière grasse du lait standardisé est obtenue par le calcul en appliquant la formule:

$$\text{M.G.L.S.} = \frac{\text{M.G.F.} \times \text{G}}{\text{E.S.D.F.}} + \text{M.G.P.}$$

M.G.L.S. : Matière grasse de lait standardisé (g/l)

M.G.F. : Matière grasse du fromage (% extrait sec total)

E.S.D.F. : Extrait sec dégraissé fromage (% extrait sec total)

G. : Coefficient G correspond à l'extrait sec dégraissé récupéré dans le fromage par litre de lait transformé

Matière grasse perdue dans le lactosérum et non récupérée dans le fromage

M.G.P. : (g/l)

Exemple

Soit à standardiser 100 litres de lait en vue de la fabrication de fromage à 30 pour cent G/S à partir de lait de dromadaire, titrant 27 g/l de M.G., coefficient G: 25 M.G.P. : 8g/l

- M.G. du lait standardisé:

$$\frac{30 \times 25}{70} + 8 = 19 \text{ g/l}$$

- Quantité totale de M.G. à apporter dans la cuve

$$100 \times 19 = 1900 \text{ g}$$

- Proportions du mélange:

$$\text{Lait entier} : \frac{1900}{27} = 70,5 \text{ l}$$

$$\text{Lait écrémé} : 100 - 70,5 = 29,5 \text{ l.}$$

Le mode opératoire à suivre comprend les étapes ci-après:

- Mesurer la teneur en M.G. du lait cru à transformer.
- Déterminer selon le mode de calcul exposé ci-dessus les volumes de lait entier et de lait écrémé à introduire dans la cuve de fabrication.
- Déduire du volume calculé de lait écrémé, le volume de ferments lactiques qui sera inoculé lors de la préparation du lait de fromagerie.

- **Mesurer avec précision les volumes respectifs de lait entier et de lait écrémé.**

3.2.3 Correction de la teneur en matière sèche

Un des points critiques de la transformation du lait de dromadaire en fromage provient de son extrait sec relativement bas et des particularités de sa composition en caséine et en calcium. D'un point de vue pratique, il est possible d'envisager plusieurs traitements de correction qui peuvent être utilisés isolément ou simultanément lors de la préparation des laits de fromagerie.

Augmentation de la concentration en caséine

Différentes voies sont applicables pour accroître la concentration relative du lait en caséine; il en résulte une plus grande densité micellaire qui a pour effet principal de réduire les temps de floculation et d'améliorer les propriétés rhéologiques des gels formés.

Concentration par évaporation

Une première alternative consiste à réaliser une concentration de la matière sèche totale du lait de dromadaire par évaporation de l'eau; la température utilisée doit être douce 45° - 60° C pour éviter les incidences négatives d'un chauffage excessif sur la coagulation et la synérèse (voir paragraphe précédent). Cette opération peut être pratiquée au plan artisanal en récipient ouvert de petite capacité ou au plan industriel par évaporation sous vide. Compte tenu du coût énergétique de l'opération, il semble raisonnable de limiter le taux de concentration à 15–20 pour cent de matière sèche.

Concentration par ultrafiltration

Une méthode plus sophistiquée pourrait faire appel à l'ultrafiltration. Cette technique permet de

concentrer uniquement la phase protéique; par analogie à la pratique industrielle largement répandue pour le lait de vache, un ajustement à un taux protéique de 3,6–3,8 pour cent pourrait être adéquat. Il n'existe toutefois à ce jour aucune donnée publiée faisant état d'expérimentation pour le lait de dromadaire. Il y a lieu de souligner que les procédés par ultrafiltration restent délicats à utiliser; ils nécessitent en particulier le respect de normes de nettoyage et de désinfection très rigoureuses, une sécurité absolue dans l'alimentation en fluides et un personnel technique hautement qualifié. Par ailleurs, les équipements disponibles sur le marché ont pour la plupart des capacités de traitement élevées. Ces diverses raisons font que cette technique ne peut être réservée qu'à des unités importantes de traitement du lait établies en sites industriels.

Ajout de poudre de lait

Le renforcement de l'extrait sec du lait de dromadaire à l'aide de poudre de lait permet de raffermir considérablement le gel et de le travailler dans des conditions correctes (Ramet, 1987); un ajout de l'ordre de 4 à 8 pour cent apparaît suffisant pour améliorer la transformation en fromage sans pour autant modifier sensiblement la qualité organoleptique du produit fini, et accroître le coût de production. Le choix d'une poudre présentant une bonne qualité fromagère est nécessaire; en ce sens, les poudres séchées à basse et moyenne températures (low - medium heat) sont les plus adaptées.

Une autre solution intéressante pourrait consister à utiliser des poudres de rétentats de lait obtenues par ultrafiltration et déshydratation, pour ajuster le taux protéique à 3,6–3,8 pour cent. Cette technique apparaît difficilement applicable en raison de son coût élevé.

A moins de disposer d'une poudre de lait de dromadaire, l'utilisation de poudre de lait d'autres espèces animales les plus disponibles sur le marché, peut poser un problème réglementaire

relatif à une appellation "fromage au lait de dromadaire".

Ajout de lait liquide d'autres espèces animales

Dans l'aire de distribution géographique du dromadaire, les troupeaux de chèvres, de brebis, voire de zébus et buffles sont fréquents. Le lait de ces animaux possède, en raison de sa composition en caséine et en calcium, une bonne aptitude fromagère; leur mélange peut être envisagé pour améliorer la fromageabilité du lait de dromadaire.

Une expérimentation conduite en Arabie saoudite (Ramet, 1990) a montré que la supplémentation du lait de dromadaire par du lait de brebis dans une proportion de 10 à 50 pour cent a des conséquences extrêmement positives sur la coagulation et l'égouttage:

- **le temps de coagulation est réduits très sensiblement; ainsi, le gain de temps est amélioré de près de 70 pour cent après ajout de 10 pour cent de lait de brebis (fig. 10)**
- **la fermeté du gel mesurée par une méthode instrumentale est accrue d'une manière très marquée; celle-ci est doublée après apport de 10 pour cent de lait de brebis (fig. 11)**
- **l'égouttage est plus rapide; avec une addition de 10 pour cent de lait de brebis, la réduction de temps nécessaire pour recueillir un volume de sérum égal à 50 pour cent du poids de lait mis en oeuvre est de l'ordre de 20 pour cent par rapport au coagulum de lait de dromadaire (fig. 12)**
- **l'acidification est légèrement plus rapide après ajout de lait de brebis (fig. 13) vraisemblablement par atténuation du pouvoir tampon élevé du lait de dromadaire**
- **le taux de matière sèche récupérée dans le fromage, rapporté à la matière sèche du lait mis en oeuvre, est augmenté d'une manière très significative; il passe de 37 pour cent pour le témoin à 42 pour cent pour le lait supplémenté avec 10 pour cent de lait de brebis et à 56 pour cent pour le lait enrichi avec 50 pour cent de lait de brebis (fig. 14, tableau 12).**

L'ensemble des effets favorables constatés au cours de la coagulation et de l'égouttage s'expliquent par une meilleure structuration du coagulum consécutive à l'apport par le lait de brebis d'un extrait sec important (18,9 pour cent) composé de constituants réputés hautement coagulables (IDF, 1986).

Il convient de remarquer que, même en cas de disponibilité réduite de lait de brebis, son mélange au lait de dromadaire apporte des bénéfices considérables pour la transformation du lait de dromadaire en fromage. La simplicité du procédé le rend très facilement applicable pour les fabrications familiales et artisanales.

3.2.4 Correction des équilibres salins

Apport d'un sel de calcium

On sait que la présence de calcium ionisé est indispensable à l'accomplissement de la phase secondaire de la coagulation qui conduit, après protéolyse spécifique de la caséine Kappa par l'enzyme coagulante, à l'agrégation des micelles pour former un réseau constituant le coagulum (Webb *et al.*, 1984; Ramet, 1985). En raison de l'existence dans le lait de dromadaire d'un équilibre salin particulier, l'ajout d'un sel de calcium apporté sous forme de chlorure ou de phosphate monocalcique entraîne un raccourcissement très marqué des temps de coagulation et renforce la fermeté des gels (Ramet, 1985; 1987; 1990). L'action bénéfique de ces sels est liée, d'une part à un abaissement de pH (fig. 15) qui favorise l'activité enzymatique de la protéase coagulante, d'autre part, à l'enrichissement du milieu en ions calciques qui créent des pontages renforçant la cohésion et la réticulation intermicellaire (fig. 16). Comparativement au lait de vache, l'activation observée est de 15 à 20 pour cent supérieure selon la concentration; le phosphate de calcium est, par ailleurs, plus efficace que le chlorure de calcium (Ramet, 1985).

Au plan de la pratique fromagère, il convient de limiter l'ajout de sels de calcium à une concentration de 10 à 15 g pour 100 litres de lait, ce qui entraîne une réduction du temps de coagulation de 20 à 25 pour cent (fig. 17), par rapport à un lait non supplémenté (Ramet, 1985, 1987, 1990; Farah et Bachmann, 1987).

Pour permettre une répartition homogène du sel de calcium dans toute la masse du lait et pour assurer la modification souhaitée de l'équilibre salin, il est nécessaire d'ajouter le sel de calcium, au minimum 30 minutes avant l'apport de l'enzyme coagulante. Dans le cas contraire, l'ajoute de sels de calcium a peu d'influence sur le temps de floculation. (Mohamed *et al.*, 1990)

Lorsqu'un chauffage du lait est assuré en début de fabrication pour améliorer la qualité des produits, il convient d'effectuer l'apport des sels de calcium après traitement thermique et refroidissement du lait à la température de coagulation; dans le cas contraire, les sels de calcium ajoutés seraient insolubilisés et perdraient leur efficacité.

Des taux en sels de calcium supérieurs au seuil précité, provoquent fréquemment l'apparition de goût amer dans le fromage (Ramet, 1987). Il convient également de n'utiliser que des sels purifiés de qualité alimentaire; Le chlorure de calcium est disponible sur le marché sous forme sèche (poudre - granulés) ou liquide (concentré à 510 g/l); son coût est faible. Le phosphate monocalcique est plus rare et son prix supérieur; il se présente sous forme pulvérulente.

Apport de chlorure de sodium

Le salage du lait à l'aide de chlorure de sodium est parfois utilisé pour protéger le milieu des altérations par voie microbienne; le taux de sel nécessaire pour abaisser suffisamment l'activité de l'eau et interdire la prolifération des germes est de l'ordre de 4 à 6 pour cent (Ramet, 1985).

L'effet du chlorure de sodium sur l'aptitude à la coagulation est différent selon la concentration utilisée; pour des teneurs très faibles comprises entre 0 et 0,3 pour cent, on note une faible activation de la coagulation, d'environ 15 pour cent, à l'aide de la présure de veau et de la pepsine bovine. Lorsque les taux de sels sont plus élevés, les temps de coagulation augmentent; ils deviennent supérieurs aux temps témoins observés sur le lait non salé lorsque le salage dépasse 0,6 pour cent (Ramet *et al.*, 1982; Ramet et El-Mayda, 1984). L'incidence favorable du chlorure de sodium, constatée pour les faibles teneurs en sel, paraît être liée à l'effet activateur induit par effet pH et par la force ionique sur l'activité enzymatique. Aux concentrations supérieures; les rôle dissociant du sodium sur les protéines micellaires et sur l'enzyme coagulante devient dominant et contribue à retarder la formation du gel. Selon la nature de l'enzyme coagulante employée, l'effet du chlorure de sodium sur la coagulation du lait de vache n'est pas identique (Hamdy et Edelsten, 1970; Ramet et El Mayda, 1984). On retrouve un phénomène similaire pour le lait de dromadaire; la pepsine bovine apparaît moins sensible que la présure de veau, à la présence de sel dans le milieu, notamment aux concentrations élevées (fig. 18).

Les propriétés rhéologiques des sels formés sont également modifiées par la présence de sel; l'évolution est parallèle à celle des temps de floculation. Aux faibles teneurs en chlorure de sodium de 0 à 0,3 pour cent, la fermeté est améliorée et la friabilité réduite; au-delà, l'effet est inversé, il se traduit par une chute de fermeté et un accroissement de friabilité qui par ailleurs est plus marqué avec la présure de veau qu'avec la pepsine bovine (Ramet, 1990).

Ces observations permettent de conclure qu'un salage faible du lait au taux de 0,3 pour cent peut être préconisé pour améliorer la coagulation du lait de dromadaire. Il apparaît toutefois que ce traitement doit être utilisé avec discernement et être réservé à la production de fromage à humidité élevée, le chlorure de sodium accroît en effet la rétention d'eau dans le coagulum en cours d'égouttage et ne permet pas d'obtenir des fromages à taux de matière sèche élevés

(Ramet *et al.*, 1982; Ramet et El Mayda, 1984; Ramet, 1985). Il faut noter que le lactosérum issu de ces fabrications est lui-même salé à environ 3 g/l, ce qui ne semble pas devoir limiter ses valorisations potentielles.

3.3 Conduite de la coagulation

3.3.1 Choix de l'enzyme coagulante

Plusieurs expérimentations menées en Arabie saoudite (Ramet, 1985; 1990) et en Tunisie (Ramet 1987) ont permis de montrer que l'affinité des différentes préparations coagulantes disponibles sur le marché pour coaguler le lait de dromadaire n'était pas identique (fig.2). Parmi celles-ci, la pepsine bovine a été identifiée comme la plus apte à la coagulation; la présure de veau et l'enzyme coagulante de *Mucor miehei* présentent une aptitude à la coagulation un peu inférieure, mais acceptable. D'autres observations (Gast *et al.*, 1989; Yagil, 1982; El Abassy, 1987; El Batawy *et al.*, 1987) apparaissent confirmer le statut privilégié des pepsines pour coaguler le lait de dromadaire.

Une des caractéristiques communes à toutes les pepsines est d'être plus actives en milieu acide que la chymosine et la présure; l'activité coagulante décroît fortement au-dessus de pH 6,3; au pH du lait frais (6,65–6,75), la coagulation n'apparaît pas. Une évolution comparable a été mesurée dans le lait de dromadaire (fig. 19); les résultats indiquent que pour bénéficier au mieux de l'effet pH, il y a bien lieu d'acidifier le lait avant coagulation jusqu'à pH 6,2–6,4. Toutefois cette pratique ne peut pas être utilisée pour tous les types de fromages, car l'acidification entraîne une déminéralisation corrélative des micelles qui induit une friabilité accrue du gel et une baisse de l'aptitude à l'égouttage. De ce fait, seuls les laits destinés à la fabrication de fromages à pâtes fraîches, à pâtes molles pourraient être traités dans les conditions précitées. Pour les pâtes pressées, il conviendra de limiter l'acidification à des pH

supérieurs et en fonction du taux de matière sèche recherché dans le fromage, soit 6,4–6,5 pour les pâtes pressées non cuites et 6,5–6,6 pour les pâtes pressées cuites.

Une réserve souvent exprimée, relative à l'utilisation de la pepsine, est qu'elle possède une activité protéolytique générale non négligeable qui peut se manifester dans les fromages par la libération de peptides amers; l'accident dépend de la quantité d'enzyme coagulante résiduelle retenue dans le fromage; il est favorisé lorsque le pH du fromage est inférieur à 5,2 et lorsque le potentiel enzymatique protéolytique apporté par la micro flore sauvage implantée dans le fromage est restreint. On sait également que les peptides amers proviennent principalement de l'hydrolyse de la caséine β qui est fortement représentée dans le lait de dromadaire. Il n'existe actuellement aucune connaissance précise sur ces interactions qui pourraient constituer une limite à l'usage de la pepsine pour produire des fromages au lait de dromadaire.

La présure de veau et la protéase de *Mucor miehei* ne présentent pas ces inconvénients et pourraient donc, malgré leur affinité inférieure à coaguler le lait de dromadaire, être préférées à la pepsine.

3.3.2 Ajustement du pH de coagulation

Toutes les enzymes coagulantes de fromagerie sont des protéases à caractère acide dont l'activité optimale est généralement proche de pH 5,5 (Ramet, 1984). Le lait frais de dromadaire possède, d'après différentes sources bibliographiques, un pH pouvant, selon ses origines très diverses, varier dans une fourchette assez large comprise entre pH 6,55 et 6,85; ces valeurs ne sont pas très favorables à une bonne activité coagulante, d'où l'intérêt en pratique d'acidifier légèrement le lait au moment de l'emprésurage.

La figure 19 montre en particulier qu'en acidifiant le lait de dromadaire de pH 6,66 à pH 6,40, on

diminue le temps de coagulation par la présure de 28 pour cent et de 70 pour cent pour la pepsine.

Plusieurs techniques peuvent être proposées pour réaliser cet ajustement dirigé du pH:

- **la méthode la plus simple consiste à inoculer le lait avec 1 à 2 pour cent de ferments lactiques ayant une acidité titrable de l'ordre de 0,8 pour cent; l'abaissement de pH du lait consécutif à cet apport est alors d'environ 0,10 à 0,15. Si cet abaissement est jugé insuffisant, il y a lieu de laisser murer le lait à une température de 28 à 35° C, pour permettre une production d'acide lactique par les bactéries précédemment ensemencées. Cette période de maturation peut être maintenue pendant 30 à 90 minutes selon l'acidité souhaitée lors de la coagulation.**
- **la seconde méthode, la plus usitée, réalise l'abaissement de pH par apport d'un sel de calcium ou de sodium. Les limites pratiques de cet ajout ont été précisées ci-dessus au paragraphe 3.2.4.**
- **un troisième procédé est d'apporter dans le milieu un acide organique. Les acides ayant des goûts très caractéristiques (citrique - acétique) ne peuvent pas être utilisés; l'acide lactique commercial de qualité alimentaire est le plus adapté. L'ajout au lait doit se faire très progressivement en maintenant une agitation énergique et permanente du lait; dans le cas contraire, il se produit une coagulation instantanée de la caséine suivie de la formation d'un précipité au niveau de la zone d'introduction de l'acide dans le lait. L'acidification doit être contrôlée périodiquement lors de l'incorporation de l'eau, par mesure de l'acidité titrable du lait ou par mesure du pH, jusqu'au niveau recherché.**

Une variante de la méthode peut être obtenue en incorporant au lait un lactosérum très acide

titrant 1,2 à 1,8 pour cent d'acide lactique provenant d'une culture antérieure de bactéries lactiques sur du lait ou du lactosérum. Avant ajout au lait, les bactéries lactiques sont détruites par pasteurisation à 72–75° C pendant une minute, pour éviter leur prolifération dans le lait de fabrication. Cette méthode peut être avantageusement utilisée lorsque l'acide lactique n'est pas disponible sur le marché local; elle présente toutefois l'inconvénient de provoquer une dilution du lait. Son usage est donc limité à des abaissements minimes du pH.

On peut également citer pour mémoire deux méthodes proposées récemment dans les pays industrialisés. La première réalise une acidification par de l'acide gluconique. Cet acide est libéré progressivement dans le lait par hydrolyse spontanée en présence d'eau de glucono-delta-lactone - ou GDL - . La seconde utilise une injection de gaz carbonique dans le lait; ce gaz étant très soluble dans l'eau, l'ajustement du pH est quasi instantané.

Il faut rappeler que toute acidification entraîne une déminéralisation de la caséine qui conduit lors de la coagulation à une friabilisation du gel et à une diminution de l'aptitude à l'égouttage. L'ajustement du pH doit être conduit de manière définie dans des limites strictes pour chaque type de fromage (voir Monographies par. 4.2).

En Somalie, la consommation de lait de dromadaire est assurée dans des récipients frottés avec du charbon de bois; cette pratique pourrait induire par diffusion d'acides organiques dans le lait, une baisse de pH de 0,1–0,2 unité favorable à la diminution du temps de coagulation (Mohamed, 1990).

3.3.3 Augmentation de la température de coagulation

La température optimum d'activité des enzymes coagulantes se situe pour la plupart au voisinage de 40–45° C; au-dessus de cette valeur, se produit une dénaturation progressive de

l'enzyme qui devient complète vers 65° C (Ramet, 1984).

Dans la gamme de température 25–40° C, il existe une relation quasi linéaire entre température et activité coagulante. Ainsi, à l'aide de présure, le temps de coagulation du lait de vache est réduit d'environ 70 pour cent; pour le lait de dromadaire, la diminution est de l'ordre de 50 pour cent (Farah et Bachmann, 1987).

Pratiquement, il est donc possible d'exploiter cette propriété pour réduire les temps de coagulation. L'amplitude de l'ajustement possible est déterminée par trois contraintes:

- **La première est la compatibilité de la température avec le développement des bactéries lactiques en vue d'obtenir la cinétique d'acidification requise pour le type de fromage fabriqué;**
- **La seconde est liée à la diminution de fermeté des gels par effet de température sur la viscosité;**
- **La troisième contrainte résulte de l'accroissement de l'égouttage consécutif à l'augmentation de température qui induit une texture plus sèche dans le produit fini.**

Au vu de ces différentes considérations, la correction de température admissible est en général assez étroite et comprise entre +3 et +5° C.

3.3.4 Augmentation de la concentration en enzyme coagulante

Pour la plupart des enzymes coagulantes, il existe une relation pseudolinéaire entre le temps de coagulation et l'inverse de la concentration en enzyme; un doublement de la dose d'enzyme réduit de moitié le temps de floculation (Ramet, 1985).

En pratique, l'application de cette règle doit rester très limitée car elle bouleverse l'équilibre précis qui existe dans une fabrication donnée entre caractère acide et caractère enzymatique. De plus, un surdosage d'enzyme coagulante conduit fréquemment à une texture granuleuse de la pâte, à un affinage plus rapide avec apparition d'amertume due à l'accumulation de peptides amers.

En raison de l'aptitude réduite à la coagulation du lait de dromadaire qui nécessite de majorer la dose de coagulant pour obtenir des délais de fabrication comparables à ceux observés pour le lait de vache, il n'apparaît pas judicieux de surdoser une nouvelle fois le milieu en enzyme coagulante.

3.4 Conduite de l'égouttage

3.4.1 Modalités

La caractéristique essentielle de l'égouttage est qu'il reste, même si les méthodes de correction précitées pour améliorer la coagulation sont appliquées, conditionné par la fragilité relative des gels. De ce fait, les différents traitements mécaniques intervenant en début d'égouttage doivent être appliqués avec grande précaution de manière à éviter tout bris incontrôlé du gel. Pour cela, le tranchage doit être fait d'une manière très douce, sur un coagulum suffisamment raffermi pour éviter sa pulvérisation en fines particules.

Pour les fromages à pâte molle et à pâte pressée, il y a lieu, pour obtenir un grain plus ferme au moulage, qui ne se brisera pas au contact des supports d'égouttage (toiles, moules, palteaux), d'accroître le degré de tranchage par rapport aux normes existantes pour les fromages homologues au lait de vache (Ramet, 1985), puis de prolonger la durée de l'égouttage statique en cuve; il se produit alors un raffermissement important du gel consécutif à

l'augmentation du taux de matière sèche lié à la séparation du lactosérum.

Pour les fromages présentant un caractère acide et une humidité élevée, supérieure à 65 pour cent, le moulage direct en moules est très délicat en raison des pertes très importantes de caillé pouvant se produire par les trous des moules; il est alors préférable de réaliser un pré-égouttage en sacs textiles qui assurent une rétention et une filtration efficace du caillé; la mise en moules du caillé partiellement égoutté peut alors être effectuée sans pertes excessives.

Cette adaptation des modalités de début d'égouttage s'avère surtout nécessaire lorsque le lait traité est pauvre en matière sèche et est en particulier collecté en saison chaude auprès d'animaux rarement abreuvés (Yagil et Etzion, 1980; Ramet, 1987; 1991).

La synérèse des coagulums de lait de dromadaire est rapide, comparativement à celle des gels du lait de vache; la forte teneur en eau du lait et la capacité d'hydratation limitée de la caséine sont vraisemblablement responsables de ce phénomène.

Différents procédés énoncés précédemment pour corriger l'aptitude à la coagulation (traitement thermique, enrichissement en protéines) ont pour effet d'accroître l'hydratation du gel et de ralentir son égouttage.

3.4.2 Rendements fromagers

Les rendements fromagers obtenus avec le lait de dromadaire se caractérisent par un taux de recouvrement très faible de l'ordre de 30 pour cent dans le fromage, de la matière sèche du lait mis en oeuvre. L'analyse comparée des résultats obtenus lors de fabrications homologues de fromages à pâtes pressées non cuites (tableau 13), montre qu'après thermisation préalable du lait, ajout de chlorure de calcium et adaptation des paramètres d'égouttage dans les conditions précitées, le taux de recouvrement de matière sèche était sensiblement amélioré; le gain

observé peut être estimé à environ 2 pour cent en traitant un lait très pauvre en matière sèche (9,4 pour cent) et à près de 10 pour cent avec un lait plus riche en extrait sec (10,2 pour cent). La perte en matière grasse dans le lactosérum est très sensiblement réduite de 1,3 à 0,63 pour cent. (Ramet, 1987; Ramet et Kamoun, 1988).

3.5 Conduite de l'affinage

3.5.1 Modalités

Les données relatives à la caractérisation de l'affinage des fromages au lait de dromadaire sont très rares; il n'existe en particulier aucune information sur l'évolution dans le temps des principaux facteurs liés au substrat (pH, activité de l'eau) qui régulent les équilibres microbiens et l'activité du potentiel enzymatique responsables de la protéolyse et de la lipolyse (Ramet, 1985).

Seules quelques observations d'ordre général faites lors de fabrications expérimentales sont disponibles (Ramet, 1987; Ramet et Kamoun, 1988; Mohamed *et al.*, 1990; Ramet, 1990).

L'évolution apparente des fromages a été jugée satisfaisante pour les différentes catégories de fromages; pour les fromages à pâte molle de type Camembert et comportant une moisissure superficielle de *Penicillium camembertii*, la croissance du mycelium s'est faite dans les délais habituels et de manière homogène. Pour les fromages plus humides correspondant au type "chèvre", aucune différence visible n'a été également relevée; il en est de même pour les fromages de type pâte persillée caractérisés par le développement interne de la moisissure bleue *Penicillium roquefortii*.

Pour les fromages à pâte pressée non cuite de type Baby Gouda et de type Gibneh, l'évolution a été, elle aussi, relevée conforme au comportement habituel de ces produits en phase

d'affinage.

Pour l'ensemble des fromages, une perte de poids assez accentuée a été notée; celle-ci résulte d'une évaporation de l'eau plus intense que celle observée pour les fromages au lait de vache; il est difficile de préciser si cette perte est consécutive à des fluctuations d'hygrométrie dans les enceintes d'affinage ou à un moindre degré de liaison de l'eau contenue dans la pâte du fromage due au caractère moins hydrophile de la caséine du lait de dromadaire.

3.5.2 Caractéristiques organoleptiques

Au plan organoleptique, les analyses sensorielles pratiquées à différents moments de l'affinage ont révélé une qualité globalement satisfaisante des produits fabriqués:

- **l'aspect des fromages a été jugé conforme aux critères spécifiques de qualité des catégories concernées.**
- **la texture onctueuse et très fine a été appréciée pour les fromages frais.**

Pour les fromages à humidité plus faible de type chèvre, de type pâte pressée non cuite et de type pâte persillée, quelques dégustateurs ont noté une texture légèrement rugueuse qui peut s'expliquer par la faible teneur en matière grasse de la pâte et par le dessèchement plus accentué.

D'une manière très ponctuelle, certains lots de fromage à pâte pressée non cuite présentent en bouche lors de la mastication une texture collante et grasseuse voisine de celle mentionnée précédemment (cf. par. 2.4.2) pour le beurre de lait de dromadaire. L'origine du défaut n'a pas été déterminée (Ramet et Kamoun, 1988; Ramet, 1990).

- **L'odeur des fromages est faible sans dominante caractéristique.**

- **Le goût des différents types de pâtes a été jugé bon et assez comparable à celui d'un fromage de chèvre non affiné dépourvu de saveur caprine typique. Contrairement à une opinion préconçue souvent rencontrée, la flaveur du fromage de dromadaire est assez neutre et sans rapport avec l'odeur souvent très typée de l'animal !**

Une amertume momentanée en début d'affinage et d'intensité faible à modérée a été trouvée pour des fromages à pâte pressée non cuite; elle a été attribuée à l'utilisation de doses élevées de chlorure de calcium destiné à faciliter la coagulation (Ramet, 1987), ainsi qu'à une acidification excessive en cours d'égouttage déterminant un pH bas favorable à l'accumulation de peptides amers (Ramet et Kamoun, 1988; Kamoun et Bergaoui, 1989).

La saveur amère et légèrement salée présentée par certains lots de lait provenant d'animaux élevés en évlage extensif traditionnel n'est plus détectable dans les fromages correspondants (Ramet, 1987); il n'est pas déterminé si les substances responsables sont hydrosolubles et éliminées avec le lactosérum ou si leur goût est masqué par les autres composants du fromage.

En Somalie, le lait est recueilli dans des récipients désinfectés à l'aide de charbon de bois (Ramet, 1989); cette pratique communique au lait une saveur fumée et une couleur très légèrement grise; ces caractéristiques donnent au fromage de type GRANA, une saveur typique et une couleur sombre originale (Mohamed *et al.*, 1990).



IV. PROTOCOLES DE FABRICATION DES FROMAGES AU LAIT DE DROMADAIRE

Pour réaliser un fromage dans de bonnes conditions et obtenir un produit de qualité, il convient d'appliquer un certain nombre de règles communes à la fabrication de tous les fromages. Nous n'en présentons ci-après qu'un bref résumé; pour de plus complètes informations, le lecteur pourra se référer utilement à des ouvrages spécialisés plus complets publiés sur le sujet. (Alais, 1975; Veisseyre, 1975; Ramet, 1985; Scott, 1986; Fox, 1987; Robinson, 1990).

Dans la seconde moitié de ce chapitre, nous indiquerons sous forme de monographies les protocoles détaillés nécessaires à la fabrication des principaux types de fromages à partir du lait de dromadaire.

4.1 Recommandations générales de la transformation du lait en fromage

4.1.1 Règles communes à observer pour fabriquer un fromage dans de bonnes conditions

Pour transformer le lait en fromage dans des conditions correctes et obtenir un produit de bonne qualité, il y a lieu de respecter les recommandations suivantes:

- Sélection d'un lait de bonne qualité chimique et microbienne (lait non acide)**
- Réalisation de la fabrication dans des locaux propres, clairs, à l'abri des contaminations externes; utilisation exclusive de matériels préalablement nettoyés et désinfectés. Les personnes réalisant la fabrication doivent être en bonne santé, propres et vêtues proprement.**

- **Amélioration de l'aptitude fromagère par application de traitements de correction (thermisation-enrichissement en matière sèche et en sels de calcium) (voir détails au paragraphe 3.2)**
- **Mesure systématique et rigoureuse des paramètres importants de fabrication (concentration en présure, en ferments lactiques, température, acidité, poids).**
- **Utilisation exclusive d'auxiliaires de fabrication de bonne qualité chimique et microbienne (ferments lactiques-présure-chlorure de calcium - chlorure de sodium).**
- **Conservation des auxiliaires thermosensibles (ferments lactiques-présure) au réfrigérateur (0–4° C) pour limiter les pertes d'activité; renouvellement périodique des lots; élimination des produits trop vieux ayant dépassé la date limite d'utilisation.**
- **Conservation des produits finis au froid (0–4°C), à l'abri des contaminations et de la déshydratation.**
- **Élimination de tout produit accidenté ou suspect.**

4.1.2 Préparation et utilisation de levains lactiques

L'utilisation régulière de levains lactiques apporte au niveau de la fabrication fromagère une garantie dans la qualité organoleptique et hygiénique des produits fabriqués. Dans le cas des fromages au lait cru, l'ajout de levains lactiques est recommandé pour compléter l'ensemencement naturel en bactéries lactiques qui est souvent déficient par rapport à la population de germes indésirables (bactéries coliformes à bactéries psychrotrophes, etc.). Pour les fromages réalisés à partir de lait ayant subi un traitement thermique préalable, l'ensemencement en levains lactiques est indispensable pour développer l'acidification qui va

contribuer à la coagulation, permettre l'égouttage du coagulum et assurer la protection acide du milieu.

Ces levains peuvent être préparés selon des techniques simples, bien adaptées aux productions de fromages à l'échelle domestique et artisanale. Le protocole de préparation est le suivant:

- **Sélection d'un milieu de culture pouvant être constitué soit par du lait frais de bonne qualité chimique et microbienne, soit par du lait écrémé en poudre préalablement dissous au taux de 10 pour cent dans de l'eau potable;**
- **Répartition du lait en flacons de verre, fermés par un coton;**
- **Stérilisation du lait par ébullition (T: 100°C, t: 10mn);**
- **Refroidissement à la température d'incubation, soit rapide sous courant d'eau, soit lent à la température ambiante ou au réfrigérateur;**
- **Ensemencement rapide du milieu dans des conditions aseptiques:**
 - **à partir d'une souche commerciale en poudre
taux: 0,5 g de poudre/0,5–1 l de lait**
 - **à partir de la culture liquide acidifiée du jour précédent
taux: 20 ml/0,5–1 l de lait**
- **Incubation du milieu ensemencé:**

- pour les bactéries lactiques mésophiles: T: 25–35°C, durée: 8–12h
- pour les bactéries lactiques thermophiles: T: 42–45°C, durée: 2–4h

Eviter les incubations trop longues qui entraînent une hyperacidification et une baisse d'activité des levains.

- Utilisation directe des ferments en fabrication ou après refroidissement et stockage (T: 0–4°C) jusqu'à utilisation. Eviter les conservations prolongées ($t \geq 48h$) qui atténuent la virulence des bactéries lactiques.
- Les souches mûres de bactéries lactiques doivent être également stockées au froid.

4.1.3 Ensemencement des moisissures utilisées pour l'affinage de certains fromages

Certains types de fromages peuvent être affinés par l'intermédiaire de moisissures se développant soit en surface (pâtes fraîches - pâtes molles - pâtes pressées non cuites), soit à l'intérieur de la pâte (pâtes persillées). L'apport de moisissures peut parfois se faire de manière naturelle en plaçant les fromages dans une ambiance chargée en spores: par ce procédé, le développement du mycelium n'est cependant pas toujours homogène et il peut s'en suivre un manque dans la régularité de la qualité organoleptique des fromages. De ce fait, il est souvent préférable de réaliser un ensemencement dirigé à partir de souches de moisissures commerciales; les spores sont présentées sous forme de poudre ou sous forme liquide. Pour les couvertures de surface, la moisissure le plus fréquemment rencontrée est *Penicillium camembertii*; elle est de couleur blanche à bleutée selon les variants utilisés. Pour les fromages bleus, la moisissure est le *Penicillium roquefortii*; elle est à l'origine de la formation de mycelium de couleur bleue à verte qui tapisse les cavités internes de la pâte.

Pour les fromages à moisissure externe, l'ensemencement en spores peut se faire à deux niveaux:

Dans le lait avant coagulation:

Ajouter une partie de la souche commerciale (liquide ou en poudre) en respectant la proportion indiquée par le fabricant: les doses sont généralement prévues pour 1000 litres lait - puis mélanger intimement dans toute la masse de lait.

Sur le fromage après salage:

Vingt-quatre heures après salage, tremper le fromage ou pulvériser à sa surface une suspension de spores dans de l'eau stérile ou pasteurisée et refroidie (20–25°C); le matériel (pulvérisateur - bac) contenant la suspension doit être préalablement désinfecté pour éviter toute contamination; la concentration à ajouter à l'eau stérile est de l'ordre de 0,5 ml (g) de la souche commerciale/ 1 l d'eau.

Placer les fromages après ensemencement sur des claies à fromages qui permettent une bonne oxygénation de la surface, favorable au développement de la moisissure (moisissure aérobie). Température et hygrométrie doivent être proches des valeurs précitées sinon la croissance de la moisissure est entravée notamment par dessèchement superficiel.

La croissance de la moisissure est lente, elle ne devient visible à l'oeil nu qu'après 4–8 jours; son complet développement (hauteur : 4–6 mm) nécessite de 15 à 25 jours.

L'activité enzymatique du *Penicillium* est importante et se traduit par une intense transformation biochimique du fromage; en particulier, le goût se développe par lipolyse et la texture devient plus souple par protéolyse.

Pour les fromages à moisissure interne, l'ensemencement en *Penicillium roquefortii* peut intervenir, soit dans le lait avant coagulation selon la méthode décrite ci-dessus, soit au moment du moulage en mélangeant intimement la suspension de spores aux grains de caillé déjà égouttés. Il y a lieu d'éviter le tassement de la pâte après mise en moule pour assurer la persistance de trous où la moisissure pourra se développer ultérieurement.

4.1.4 Caractérisation et utilisation des préparations enzymatiques coagulantes

L'activité des préparations commerciales contenant des enzymes coagulantes est définie en pratique fromagère par la notion de force, qui correspond au rapport entre le volume (cas des préparations liquides) ou le poids (cas des préparations sèches) de la préparation coagulante capable de coaguler un nombre déterminé d'unités correspondantes de lait dans des conditions standardisées de température et de durée. Par exemple, un kg de présure en poudre, de force déclarée 1/100 000, permet de coaguler 100 000 kg de lait à 35°C en 40 minutes.

Les préparations liquides perdent lentement leur activité si elles sont conservées à température ambiante, il est donc nécessaire de les conserver au froid (0–10°C). Les préparations sèches (poudre ou comprimé) sont plus stables; il est préférable néanmoins de les garder également au froid en cas de nécessité de stockage prolongé.

Les concentrations en présure exprimées dans les schémas recommandés de fabrication sont données pour une présure commerciale de force 1/100 000. Pour des préparations enzymatiques d'activité coagulante différente, il y a lieu de réajuster les doses utilisées de manière à obtenir les mêmes temps de coagulation. Ainsi par exemple avec une présure de force 1/10 000, il conviendrait de multiplier par 10 les concentrations annoncées ou de les réduire de 2,5 fois avec une présure de force 1/250 000.

4.2 Monographies

Les protocoles de fabrication des grands types de fromages décrits ci-après ont été élaborés principalement sur la base d'expérimentations conduites dans le sud de la Tunisie pendant l'été 1987 (Ramet, 1987). Ils sont adaptés au traitement d'un lait de dromadaire recueilli en saison chaude et pauvre en matière sèche. Parmi les différents traitements correcteurs préconisés pour améliorer l'aptitude fromagère de la matière première (cf. paragraphe 3), nous avons intégré systématiquement dans tous les protocoles, le traitement thermique et l'ajout d'un sel de calcium, qui paraissent indispensables pour garantir une bonne qualité hygiénique et organoleptique des produits finis. Les autres moyens de correction possibles peuvent être utilisés avantageusement en complément à condition de prendre en compte les modifications de technologie parfois très importantes qu'elles induisent et qui ont été précisées ci-dessus. Il convient également de noter que la nécessité de ces aménagements complémentaires diminue lorsque le lait de dromadaire traité possède un taux de matière sèche plus élevé et provient d'animaux soumis à un régime alimentaire et hydrique équilibré.

Schéma de fabrication de fromages frais

CARACTERISTIQUES

- | | |
|------------------------|---|
| • Matière première | Lait de dromadaire |
| • Type | Pâte fraîche |
| • Forme, poids, aspect | Variables se présentant sous forme d'une pâte homogène onctueuse, de couleur blanche et à flaveuracidulée caractéristique |
| • Matière sèche | 18–30 % |

- Matière grasse 10–30 %

TECHNOLOGIE

- PREPARATION DE LA MATIERE PREMIERE

- Ajustement matière grasse Utilisation de lait entier ou partiellement écrémé, frais ou peu acide
- Traitement thermique Thermisation (62–65°C, 1 mn) ou pasteurisation basse (72–75°C, 1 mn)

- COAGULATION

- Type Coagulation par voie acide dominante
- Auxiliaire de coagulation
 - phosphate ou chlorure de calcium 10–15 g/100 kg lait
 - levains lactiques forme liquide,
mésophiles 1 à 3 kg/100 kg de lait forme concentrée lyophilisée,
1 à 3 g/100 kg de lait
 - enzyme coagulante (force 1/100.000) 0,4–1 g/100 kg de lait
- Acidité du lait à 16 à 30°D - pH 6,8 - 6,0

l'emprésurage

- Température 20–35 °C
- Temps de floculation 7–20 h
- Temps de coagulation totale 16–48 h

- EGOUTTAGE

- Type Egouttage spontané accentué par traitement mécanique de faible importance
- Chronologie des traitements:
 - Tranchage Tranchage en morceaux irréguliers (1–10 cm) à l'occasion du moulage
 - Moulage Transfert du caillé par versement en toiles ou sacs textiles à haut pouvoir filtrant
 - Pressage Autopressage du caillé avec retournements périodiques (T = 20–30°C, t = 10–24h)
 - Salage Salage à sec facultatif par mélange à la pâte avant formage
 - Formage Mise en forme en contenants de forme variée, étanches, souples ou rigides

- AFFINAGE

- Type Fromages à consommer le plus souvent à l'état frais sans affinage; possibilité d'affinage après séchage à l'air
- Conservation Fromages non affinés:
T = 0–6°C, t = 5–15 jours Fromages affinés:
séchage naturel à l'air
T = 15–30°C
- Rendement fromager 10–18 kg/100 kg lait

Schéma de fabrication de fromage “type Chèvre”

CARACTERISTIQUES

- Matière première Lait de dromadaire
- Type Pâte intermédiaire entre pâte fraîche et pâte molle
- Forme, poids, aspect Forme cylindrique ou pyramidale Poids: 50–200 g
Aspect variable à croûte sèche ou humide, avec ou sans microflore bactérienne et fongique
- Matière sèche 30–70 %
- Matière grasse 10–30 %

TECHNOLOGIE

- PREPARATION DE LA MATIERE PREMIERE

- Ajustement matière grasse Utilisation de lait entier ou partiellement écrémé, frais ou peu acide
- Traitement thermique Thermisation (62–65°C, 1mn)

- COAGULATION

- Type Coagulation mixte à caractère lactique dominant
- Auxiliaire de coagulation
 - phosphate ou chlorure de calcium 10–15 g/100 kg lait
 - levains lactiques 1 à 2 kg/100 kg de lait
 - mésophiles lyophilisée: 1 à 2 g/100 kg de lait
 - enzyme coagulante (force 1/100.000) 2–3 g/100 kg de lait
- Acidité du lait à l'emprésurage 16 à 30°D, pH 6,8–6, 0
- Température 22–35° C
- Temps de floculation 30–60 mn
- Temps de coagulation totale 10–24 h

- EGOUTTAGE

- Type Egouttage spontané accentué par traitements mécaniques de faible importance
- Chronologie des traitements
 - Tranchage Tranchage en cubes (2–4 cm)
 - Moulage Moulage manuel, après repos en cuve de 20 à 45 mn, en sacs ou toiles textiles
 - Moulage Prégouttage en sacs 4–8 h Moulage en moules de type faisselles pour complément d'égouttage pendant 8–24 h
 - Salage Salage à sec en surface. Taux de sel: 1,5–2 %
 - Ressuyage Séchage pour formation de la croûte

- AFFINAGE

- Type Fromages à consommer soit à l'état frais non affiné, soit après séchage prononcé, soit après ensemencement de microflores fongiques
 - Pulvérisation d'une suspension de *Penicillium caseicolum*
- Fromages affinés avec moisissures
 - Conditions de développement de la moisissure:
T = 12–25°C

Hygrométrie = 90–95 %, t = 8–15 jours.
 Séchage naturel à l'air des fromages frais ou affinés.

- Fromages séchés

Durée: temps variables selon conditions climatiques
 et extrait sec souhaité

- Conservation

- Fromages frais et affinés:

T = 0–6°C, t = 5–30 jours

- Fromages séchés:

T 20–35°C, t = 1 à 6 mois

- Rendement fromager

- Fromages frais:

9–11 kg/100 kg de lait

- Fromages séchés:

4–8 kg/100 kg de lait selon humidité du fromage

Schéma de fabrication de fromage à pâte molle

CARACTERISTIQUES

- Matière première

Lait de dromadaire

- Type

Pâte molle

- Forme, poids, aspect

Forme cylindrique, poids:

150–300 g, croûte finie avec ou sans microflore.

Pâte homogène avec quelques trous

- Matière sèche

40–45 %

- Matière grasse

10–30 %

TECHNOLOGIE

totale

- EGOUTTAGE

- Type Egouttage spontané accentué par tranchage
- Chronologie des traitements:
 - Tranchage Tranchage en cubes 1–2 cm
 - Repos Repos sous sérum 30–45 mn jusqu'à exsudation de 15 à 25 % de lactosérum
 - Brassage Brassage discontinu et lent à raison d'une minute toutes les 10 mn pendant 20 à 30 mn
 - Moulage Après extraction du sérum, moulage à la louche en moules cylindriques
 - Pressage Pas de pressage mécanique. Egouttage et acidification en moules (T = 20–30°C, t = 16 à 24 h)
 - Salage Salage à sec par la surface Taux de sel 1,8–2 %

- AFFINAGE

- Type Affinage facultatif à l'aide de moisissures (*P. caseicum*) ou de bactéries (*Micrococcus* sp., *Brevibacterium linens*)
- Température 12–15°C

- Humidité relative 90–95 %
- Durée 15–30 jours
- Rendement fromager 7 à 8 kg/100 kg lait

Schéma de fabrication de fromages à pâte pressée non cuite

**TYPE PATE
DE LACTOSEE**

(Babygouda)

CARACTERISTIQUES

- Matière première Lait de dromadaire
- Type Pâte pressée non cuite
- Forme, poids, aspect Fromage en forme pseudo-cylindrique à croûte fine et sèche. Pâte homogène sans trous à saveur douce. Poids:
100–150 g
- Matière sèche 44–46 %
- Matière grasse 10–30 %

TECHNOLOGIE

- PREPARATION DE LA MATIERE PREMIERE

- Ajustement matière grasse Utilisation de lait entier ou partiellement écrémé, frais et non acide
- Traitement thermique Thermisation (55–62°C, 1mn)

- COAGULATION

- Type Coagulation mixte à prédominance enzymatique
- Auxiliaires de coagulation
 - phosphate ou chlorure de calcium 10–15 g/100 kg lait
 - levains lactiques Forme concentrée lyophilisée:
 - mésophiles 1–2 g/100 kg de lait
 - enzyme coagulante (force 1/100.000) 5–8 g/100 kg de lait
- Acidité à l'emprésurage 15–20° D - pH 6,8–6,4
- Température 30–33° C
- Temps de floculation 8–15 mn
- Temps de coagulation totale 30–60 mn

- EGOUTTAGE

- Type Egouttage spontané accentué par traitements mécaniques importants
- Chronologie des traitements:
 - Tranchage Tranchage en grains réguliers
(\varnothing : 0,5–1 cm)
 - Repos Repos sous sérum 15–30 mn
 - Brassage Brassage discontinu et très lent 1 mn toutes les 10 mn pendant 30 mn
 - Dé lactosage Extraction de 20 à 60 % de lactosérum, puis apport d'une quantité égale d'eau potable à 30–33° C
 - Brassage Brassage discontinu et lent selon les modalités ci-dessus
 - Prépressage Prépressage en cadre bois toilé (10–20 mn)
Découpe de la masse de caillé prépressé en portions de poids égal
 - Moulage Mise en moule toilé
 - Pressage Pressage final en moule toilé
t = 2–6 h - T = 25–30° C
 - Salage Salage en saumure saturée
(c = 24–26 pour cent NaCl-T = 12–20° C - t = 2 h)
Taux de sel = 1,5–2,5 %

- AFFINAGE

- Type Affinage à l'air avec ou sans microflore superficielle
- Température 12–18° C
- Humidité relative 90–95 %
- Durée 15–30 jours
- Rendement fromager 6–7 kg/100 kg de lait

**TYPE NON
DELACTOSE**

(Gibneh)

CARACTERISTIQUES

- Matière première Lait de dromadaire
- Type Pâte pressée à consommer à l'état frais ou après affinage en saumure ou en bain d'huile
- Forme, poids, aspect Portions parallélépipédiques:
Poids: 80–150 g - Croûte humide sans microflore de surface
- Matière sèche 35–45 %
- Matière grasse 10–30 %

TECHNOLOGIE

- PREPARATION DU LAIT, COAGULATION, EGOUTTAGE

Même protocole que pour les pâtes pressées dé lactosées jusqu'à la fin du premier brassage. Ultérieurement le dé lactosage n'a pas lieu. Le pressage est effectué dans des conditions semblables.

Salage

Salage à sec par la surface pour les fromages non affinés (taux sel: 1,5 %)

Salage en saumure pour les fromages affinés (taux de sel: 6–9 %) réalisé par immersion dans du sérum ou de l'eau salée à 8–16 %

NaCl à raison de 20–25 % du volume des contenants utilisés pour la conservation (bidons métalliques, jarres).

- AFFINAGE

- Type Conservation en saumure ou en bain d'huile
- Température Ambiante: 15–35° C
- Durée 90–180 jours
- Rendement fromager 6–7 kg/100 kg de lait

Schéma de fabrication de fromage à pâte persillée (Bleu)

CARACTERISTIQUES

- Matière première Lait de dromadaire
- Type Pâte persillée
- Forme, poids, aspect Forme cylindrique, croûte légèrement humide, blanche à ocre. Pâte blanche veinée par la moisissure *Penicillium roquefortii*. Flaveur aromatique et piquante caractéristique
- Matière sèche 45–50 %
- Matière grasse 10–30 %

TECHNOLOGIE

- PREPARATION DU LAIT, COAGULATION, EGOUTTAGE

Même protocole de fabrication que pour les pâtes pressées non dé lactosées jusqu'au brassage; toutefois, celui-ci est poursuivi pendant 30–45 mn de manière discontinue pour obtenir un grain de caillé plus ferme.

Moulage Transfert des grains du caillé sur toile pour complément d'égouttage (t = 15–30 mn) Moulage manuel avec effritement de la pâte et inoculation de spores de *P. roquefortii*

Pressage Pas de pressage mécanique, autopressage faible laissant persister des trous dans la pâte pour permettre la croissance de la moisissure

Salage à sec par la surface (T= 10–15° C, t = 4–5

Salage

jours)
Taux de sel: 2–4 %

- AFFINAGE

- Type Fromage affiné à l'air
- Température 8–12° C
- Humidité relative 90–95° C
- Durée 30–60 jours
- Traitement spécifique Piquage du fromage en début de la période d'affinage pour favoriser le développement de la moisissure
- Rendement fromager 6–7 kg/100 kg de lait



V. BIBLIOGRAPHIE

ABDO M.S., HASSANIEN M.M., MANNA M.E., HAMED M., 1987. Electrophoretic pattern of serum proteins in the Arabian camel. Indian Vet. J., 64,841–864.

ABU-LEIHAI., 1987. Composition of camel milk. Milchwissenschaft, 42,368–371.

AHMED A.A., AWAD Y.L., FAHMY F., 1977. Studies on some minor constituents of camel milk. Vet. Med. J., 25, 51–56.

ALAIS C., 1984. Science du lait, 1–814. Ed. Sepaic, Paris, F.

BACHMANN M.R., SCHULTHESS W., 1987. Lactation of camels and composition of camel milk in Kenya. Milchwissenschaft, 42, 766–768.

BARBOUR E.K., NABOUT N.H., FRIEDRICHS W.M., AL-NAKLI H.M., 1984. Inhibition of pathogenic bacteria by camel's milk; relation to whey lysozyme and stage of lactation. J. Food Protection, 47, 838–840.

BARTHE L., 1905. La composition du lait de chamelle. J. Pharm. Chim., 21, 386–388.

BAYOUMI S., 1990. Studies on composition and rennet coagulation of camel milk. Kieler Milchwirtschaft Forschungberichte, 42, 3–8.

BEG O.U., VON BAHR-LINSTROM H., ZAIDI Z.H., JORNVALL H., 1987. Characterization of a heterogenous camel milk whey non-casein pro-protein. Fed. European Bioch. Society Letters, 2, 270–274.

CIHEAM, 1988. Options Méditerranéennes. Série A/2 : La digestion, la nutrition et l'alimentation du dromadaire. Actes du colloque de Ouargla, ALG.

CIHEAM, 1989. Options Méditerranéennes. Série A/6 : Le lait dans la région méditerranéenne. Actes du colloque de Rabat, MA.

- CONTI A., GODOVAC-ZIMMERMANN J., NAPOLITANO L., LIBERATORI J., 1985. Identification and characterization of two - lactalbumins from Somali camel milk. *Milchwissenschaft*, 40, 673–675.**
- DAVIES W.L., 1939. The chemistry of milk. Champmann and Hall Pub., London, G.B.**
- DICKSON H.R.P., 1951. The Arabs of the desert. Allen and Uwin Ltd., London, G.B.**
- DONG WEI L., 1980. Chinese camels and their productivities. I.F.S.Symp., Khartoum, S.**
- EL-BASSY F., 1987. Studies on camel pepsin. *Egypt. J. Dairy Sci.*, 15,87–92.**
- ELAMIN F.M., 1980. The dromedary camel in Sudan. I.F.S. Workshop on camels, Khartoum, S.**
- EL-BAHAY G.M., 1962. Normal contents of Egyptian camel milk? *Vet. Med. J.*, 8, 7–12.**
- EL-BATAWY M.A., AMER S.N., IBRAHIM S.A., 1987. Camel abomasum as a source of rennet substitute. *Egypt. J. Dairy Sci.*, 15,93–100.**
- EKSTRAND B., LARSSON-RAZNIKIEWICZ M., PERLMANN C., 1980. Camel micelle size and composition related to the enzymatic coagulation process. *Biochem. Biophys. Acta*, 630, 361–366.**
- ELLOUZE S., KAMOUN M., 1989. Evolution de la composition du lait de dromadaire en fonction du stade de lactation. *Options Méditerranéennes, CIHEAM*, n° A 6,307–311.**
- EVANS J.V., POWYS J.S., 1980. Camel husbandry to increase the productivity of ranch land. I.F.S. Workshop on Camels, Khartoum, S.**

FARAH Z., FARAH-RIESEN M., 1985. Separation and characterization of major components of camel milk. *Milchwissenschaft*, 40,669–671.

FARAH Z., 1986. Effect of heat treatment on whey proteins of camel milk. *Milchwissenschaft*, 42,689–692.

FARAH Z. et BACHMANN M.R., 1987. Rennet coagulation of camel milk. *Milchwissenschaft*, 42, 689–692.

FARAH Z., STREIFF T., BACHMANN M.R., 1989. Manufacture and characterization of camel milk butter. *Milchwissenschaft*, 44,412–414.

FARAH Z., RUEGG M.W., 1989. The size distribution of casein micelles in camel milk. *Food Microstructure*, 8,211–212.

FARAH Z., STREIFF T., BACHMANN M.R., 1990. Preparation and consumer acceptability tests of fermented camel milk in Kenya. *J. Dairy Res.*, 57,281–283.

FIELD C.R., 1979. Camel growth and milk production in Marsabit district, Northern Kenya. I.F.S. Workshop on camels, Khartoum, S.

FOX P.F. 1987. Cheese, Vol. 1 : General aspect, 1–400. Vol. 2 : Chemistry, physics, microbiology, 1–393. Elsevier Appl. Sci. Pub., New-York, U.S.A.

GAST M., MAUBOIS J.L., ADDA J., 1969. Le lait et les produits laitiers en Ahaggar. Centre Rech. Anthropol. Prehist. Ethno., Paris, F.

GERARD D., RICHARD D., 1989. Note sur la consommation de foin par les dromadaires. *Revue*

Elev. Méd. Vét. Pays Trop., 42,95–96.

GNAN S.O., SHERIHA A.M., 1986. Composition of Libyan camel's milk. Austral.J.Dairy Technol., 33–36.

HAMDY A., EDELSTEN D., 1970. Some factors affecting the coagulation strenghts of three differents microbial rennets. Milchwissenschaft, 25,450–453.

HARTLEY B.J., 1980. Camels in the horn of Africa. I.F.S. Workshop on camels, Khartoum, S.

HASSAN A.A., HAGRASS A.E., SORYAL K.A., EL-SHABRAWY S.A., 1987. Physico-chemical properties of camel milk during lactation period in Egypt. J. Food Sci., 15,1–14.

HIGGINS A., 1986. The camel in health and disease, 1–168. Baillère Tindall, London, G.B.

HOSTE C., PEYRE DE FABREGUES B., RICHARD D., 1985. Le dromadaire et son élevage. Coll. Etudes et Synthèses Inst. Elev. Méd. Vét. Pays Trop., 1–162, Maisons-Alfort, F.

I.D.F., 1986. Production and utilization of ewe's and goat's milk. Bull. Int. Dairy Federation, 202, 1–221, Brussels, B.

I.D.F., 1990. Milk collection in warm developing countries. Int. Dairy Federation, Special issue n° 9002, 1–148, Brussels, B.

I.D.F., 1991. Signifiante of the indigenous antimicrobial agents of milk to the dairy industry. Bull. Int. Dairy Federation, 264, 2–19.

I.E.M.V.T., 1989. Le dromadaire. Revue Elev. Méd. Vét. Pays Trop., 42, 1, 1–143.

JARDALI Z., 1988. Contribution à l'étude de la composition du lait de dromadaire. Dipl. Etude Approf., 1–88, Inst. National Polytech., Vandoeuvre-lès-Nancy, F.

JARDALI Z., RAMET J.P., 1991. Composition et taille des micelles du lait de dromadaire. Le lait, à paraître.

JENNESS R., SLOAN R.E., 1969. The composition of milk of various species ; a review. Dairy Sci. Abst., 32, 599–612.

KAMOUN M., GIRARD P., BERGAOUI R. 1989. Alimentation et croissance du dromadaire. Effet d'un aliment concentré sur l'ingestion de matière sèche et la croissance du chameau en Tunisie. Revue Elev. Méd. Vét. Pays Trop., 42, 89–94.

KAMOUN M., BERGAOUI R., 1989. Un essai de production et de transformation de lait de dromadaire en Tunisie. Revue Elev. Méd. Vét. Pays Trop., 42, 113–115.

KANDARAKIS J.G., 1986. Traditional whey cheeses. Dairy federation, 202, 118–124.

KHAN K.U., APPANA T.C., 1965. Evaluation of biological value of camel milk proteins j. Nutr. Diet., 2, 209–212.

KHERASKOV S.G., 1953. Camel's milk and its products. Konevodstro, 23, 35–37.

KNOESS K.H., 1977. The camel as a meat and milk animal. World Animal Rev., 22, 39–44.

KNOESS K.H., 1979. Milk production of the dromedary. I.F.S. Workshop on camels, Khartoum, S.

KNOESS K.H., MAKJDUN A.J., RAFIG M., HAFEEZ M., 1986. Milk production potential of the dromedary with special reference to the province of Penjab. World Anim. Rew., 57, 11–21.

KON S.K., COWIE A.T., 1972. Milk and milk products for human nutrition. F.A.O. Nutrition Service, Paper 7. F.A.O., Roma, I.

LAMBERT J.C., 1988. Village milk processing. Etude F.A.O., Production Santé Animales. n^o 69, 1–69, Roma, I.

LAMPERT L.M., 1947. Milk and milk products. Food Trad. Press Ltd., London, G.B.

LARSSON-RAZNIKIEWICZ M., MOHAMED M.A., 1986. Analysis of the casein content in camel (*Camelus dromedarius*) milk. Swedish J. Agric. Res., 16, 13–18.

LEBAS F., 1991. Communication personnelle.

LEESE A.S., 1927. A treatise on the one-humped camel in health and disease. Haines and Sons Pub., Stanford, G.B.

LYSTER R.L., 1979. The denaturation of α -lactalbumin and β -lactoglobulin in heated milk. J. Dairy Res., 37, 233–343.

MARIE M., 1987. Bases endocriniennes de la fonction sexuelle chez le dromadaire. Thèse Univ. Paris 6, 1–204, Paris, F.

MARTINEZ D., 1989. Note sur la production de lait de dromadaire en secteur périurbain en Mauritanie. Revue Elev. Méd. Vét. Pays Trop., 42, 115–116.

MEHAIA M.A., 1987. Studies on camel milk casein micelles ; treatment with soluble and immobilized chymosin. *Milchwissenschaft*, 42, 706–708.

MOHAMED M.A., MURSAL A.I., LARSSON-RAZNIKIEWICZ M., 1989. Separation of a camel milk casein fraction and its relation to the coagulation properties of fresh milk. *Milchwissenschaft*, 44, 278–280.

MOHAMED M.A., LARSSON-RAZNIKEWIECZ M., MOHAMED M.A., 1990. Hard cheese from camel milk. *Milchwissenschaft*, 45, 716–718.

MOHAMED M.A., 1990. On the composition of Somali camel milk. In : *Camel milk composition; Thesis : Swedish Univ. of Agr.Sci., Uppsala, S.*

MONNOM D., PRIEELS J.P., DELAHAUT P., KAEKENBEECK. 1989. Le système lactoperoxydase. *Ann. Méd. Vét.*, 133, 125–140.

NIKI R., ARIMA S., 1984. Effects of size of casein micelle on firmness of rennet curd. *Jap. J. Zotech. Sci.*, 55, 409–412.

OHRIS S.P., JOSHI B.K., 1961. Composition of camel milk. *Indian Vet. J.*, 38, 514–516, 604–606.

O.I.E., 1987. Les maladies des Camélidés. *Revue Scientifique et Technique de l'Office International des Epizooties*, 6, 309–495.

PERNODET G., 1979. Le sérum dans l'alimentation humaine. Les fromages de lactosérum et dérivés. *Revue ENIL*, 41, 7–10.

PEYRE DE FABREGUES B., 1989. Le dromadaire dans son milieu naturel. *Revue Elev. Méd. Vét.*

Pays Trop., 42, 127–132.

PORTER J.W.G., 1978. The present nutritional status of milk proteins. J. Society Dairy Technol., 31, 199–202.

RAMET J.P., 1981. Cours de Technologie fromagère. Inst. Natio. Polytechn. Vandoeuvre-lès-Nancy, F.

RAMET J.P., EL-MAYDA E., WEBER F., 1982. Influence of salt on the enzymatic coagulation of milk. J. Texture Studies, 14, 11–19.

RAMET J.P., 1984. Les enzymes coagulantes en fromagerie. In: Le fromage, Ed. Sepaic, Paris, F.

RAMET J.P., EL-MAYDA E., 1984. Le salage du lait et sa coagulation enzymatique par la présure et la subtilisine. Microbiol., Aliment., Nutrition, 2, 287–294.

RAMET J.P., 1985. Study of enzymatic coagulation of camel milk in Saudi-Arabia. Mission report FAO, 1–73, FAO, Rome, I.

RAMET J.P., 1985. Les aspects technologiques particuliers de la fabrication des fromages salés affinés en saumure. Microbiol., Aliment., Nutrition, 3, 303–313.

RAMET, 1987. Production de fromages à partir de lait de chamelle en Tunisie. Rapport mission FAO, 1–33, FAO, Rome, I.

RAMET J.P., 1985. La fromagerie et les fromages du bassin méditerranéen. Etude FAO, Production et santé animales, n^o 48, 1–187, FAO, Rome, I.

RAMET J.P., KAMOUN M., 1988. Fabrications expérimentales de fromages à pâte pressée non cuite à partir de lait de dromadaire. Résultats non publiés.

RAMET J.P., 1989. Bay region Somalia agricultural development project: Camel milk component. Mission report IFAD, 1–29, IFAD, Rome, I.

RAMET J.P., 1989. L'aptitude fromagère du lait de dromadaire. Revue Elev. Med. Pays Trop., 42, 105–111.

RAMET J.P., 1990. Processing of dairy products from camel milk in Saudi-Arabia. Mission report FAO, 1–44, FAO, Rome, I.

RAMET J.P., 1991. La transformation en fromages de lait de dromadaire. Revue Mondiale de Zootechnie, n^o 67, 20–28.

RAO M.B., GUPTA R.C., DASTUR N.N., 1970. Camel's milk and milk products. Indian J. Dairy Sci., 23, 71–78.

RICHARD D., GERARD D., 1989. La production laitière des dromadaires Dankali (Ethiopie). Revue Elev. Med. Vét. Pays Trop., 42, 97–103.

ROBINSON R.K., 1990. Modern dairy technology ; Vol. 1 : 1–438 ; Vol. 2 : 1–440. Elsevier Applied Sci. Pub., New-York, USA.

ROBINSON R.K., 1990. Dairy microbiology ; Vol. 1 : Microbiology of milk, 1–301 ; Vol. 2 : Microbiology of milk products, 1–409. Elsevier Applied Sci. Pub., New-York, USA.

SAWAYA W.N., KALIL J.K., AL-SHALHAT A., AL-MOHAMED H., 1984. Chemical composition and

nutritional quality of camel milk. J. Food Sci., 49, 744–747.

SCHER J., 1988. Contribution à l'étude de l'influence de la composition des micelles sur la coagulation enzymatique. Thèse Inst. National Polytech., 1–211, Vandoeuvre-lès-Nancy, F.

SCOTT R., 1986. Cheesemaking practice. 1–529. Elsevier Applied Sci. Pub., New-York, USA.

SINGH H., 1966. Domestic animals. Nat. Book Trust Pub, New-Delhi, I.

TAHA N.M., KIELVEIN G., 1989. Studies on the nitrogen distribution and content of peptide bounds and free aminoacids in camel milk, buffalo and ass milk. Milchwissenschaft, 44, 633–636.

VEISSEYRE R., 1975. Technologie du lait ; 1–714. La Maison Rustique, Paris, F.

YAGIL R., ETZION Z., 1980. Effect of drought conditions on the quality of camel milk. J. Dairy Res., 47, 159–166.

YAGIL R., 1982. Camels and camel milk. FAO Animal Production and Health Paper n^o 26, 1–69. FAO, Rome, I.

YAGIL R., SARAN A., ETZION Z., 1984. Camel's milk: for drinking only? Comp. Biochem. Physiol., 78, 263–266.

YAGIL R., 1985. The desert camel. Comparative physiological adaptation. In: Comparative animal nutrition, Vol. 5, Karger, Basel, CH.

YAGIL R., 1986. The camel : self-sufficiency in animal protein in drought stricken areas. World

Animal Rev., 57, 2–10.

YAGIL R., AMIR H., ABU-RIBAYA A., ETZION Z., 1986. Dilution of milk: A physiological adaptation to water stress. J. Arid Environments, 11, 243–247.

YASIN S.A., WAHID A., 1957. Pakistan camels. A preliminary survey. Agric. Pakist., 8, 289–297.

WEBB B.H., JOHNSON R.H., ALFORD J.A., 1974. Fundamentals of dairy chemistry. AVI Pub. Cy.; Westport, USA.

WEBER F., 1985. Refrigération du lait à la ferme et organisation des transports. Etudes FAO, Production et santé animales, n^o 47, 1–216, Rome, I.

WILSON R.T., 1984. The camel, 1–223, Longmann Group Ltd., London, G.B.

WILSON R.T., ARAYA A., MELAKU A., 1990. The one-humped camel. Technical papers series n^o 3, 1–300, UNSO, New-York, USA.

ZITTLE C.A., THOMPSON M.P., CUSTER J.H., CERBULIS J., 1962. Kappa casein, β -lactoglobulin interaction in solution when heated. J. Dairy Sci., 45, 807–810.

Tableau 1

**Population mondiale de dromadaires par pays rapportée
à la surface et à la population
(Source: FAO 1990 Production Yearbook No. 44)**

Pays	Superficie	Population humaine	Population dromadaire	Densité dromadaires	Dromadaires par

	km2	(en milliers)	(en milliers)	(nbre/km2)	personne
AFRIQUE					
Algérie	2 381 741	24 960	135	0,06	0,005
Burkina Faso	274 200	8 996	5	0,02	0,0005
Djibouti	23 200	409	59	2,50	0,144
Egypte	1 001 450	52 426	190	0,20	0,004
Ethiopie	1 221 900	49 240	1 080	0,88	0,02
Kenya	580 370	24 031	810	1,40	0,033
Libye	1 759 540	4 545	193	0,11	0,042
Mali	1 240 190	9 214	241	0,19	0,026
Maroc	446 550	25 061	43	0,10	0,002
Mauritanie	1 025 520	2 024	820	0,80	0,405
Niger	1 267 000	7 731	420	0,33	0,054
Nigéria	923 770	108 542	18	0,02	0,002
Sénégal	196 720	7 327	15	0,08	0,002
Somalie	637 660	7 497	6 855	10,75	0,914
Soudan	2 505 810	25 203	2 800	1,12	0,111
Tchad	1 284 000	5 678	540	0,42	0,095
Tunisie	163 610	8 180	187	1,14	0,023
ASIE					
Afghanistan	652 090	16 557	265	0,40	0,016
Arabie					

saoudite	2 149 690	14 134	405	0,19	0,028
Emirats arabes unis	83 600	1 589	115	1,37	0,072
Inde	3 287 260	853 094	1 450	0,44	0,002
Irak	438 320	18 920	59	0,13	0,003
Iran	1 648 000	54 607	27	0,02	0,0005
Israël	20 770	4 600	10	0,48	0,002
Jordanie	89 210	3 288	15	0,17	0,005
Koweït	17 820	2 039	6	0,34	0,003
Oman	212 460	1 502	87	0,41	0,060
Pakistan	796 100	122 626	990	1,24	0,008
Qatar	11 000	368	24	2,18	0,065
Syrie	185 180	12 530	5	0,03	0,0004
Yémen	527 970	11 687	144	0,27	0,012

Tableau 2
Composition du lait de dromadaire

	eau	matière sèche	lactose	matière grasse	matière protéique	cendres	Référence bibliographique
Valeurs générales	87,61	12,39	3,26	5,38	2,98	0,70	BARTHE, 1905
	87,00	13,00	5,80	2,90	3,70	0,60	LEESE, 1927

	86,53	13,47	5,60	3,07	4,00	0,80	DAVIES, 1939
			5,40	2,87	3,90		DAVIES, 1939
	87,50	12,42	5,20	3,02	3,60	0,70	LAMPERT, 1947
	86,90	13,10	5,00	4,50	3,60	0,70	JENNESS et SLOAN, 1969
	86,30 à 87,3	-	3,30 à 5,8	2,90 à 5,4	3,00 à 3,9	0,60 à 0,8	WILSON, 1984
Arabie saoudite	86,60 à 90,4		3,90 à 4,8	2,40 à 5,6	2,30 à 3,4	0,75 à 0,82	SAWAYA <i>et al.</i> , 1984
			4,00 à 4,7	3,20 à 3,5	2,50 à 2,8	0,82	ABU-LEIHA, 1987
Egypte	87,90	12,00	3,90	3,80	3,50	0,80	EL-BAHAY, 1962
	86,80	13,20	5,50	3,00	3,90	0,80	DAVIES, 1963
	85,50	14,50	5,00	5,22	3,19	0,80	TAHA et KIELWEIN, 1989
	86,60	13,20	5,53	3,60	3,27	0,80	BAYOUMI, 1990
Ethiopie	85,60	14,30	3,40	5,50	4,50	0,90	KNOESS, 1977
	85,90	14,10	4,60	4,30	4,60	0,60	KNOESS, 1979
Inde	86,40	13,61	4,90	3,78	4,00	0,95	OHRIS et

	87,00	12,98	5,40	3,08	3,80	0,70	JUSHI, 1961 KHAN et APPANA, 1965
	87,00	13,00	5,40	2,90	3,90	0,80	SINGH, 1962
Israël*	85,70	14,10	4,60	4,30	4,50	0,60	YAGIL, et ETZION, 1980
	91,20	6,85	2,90	1,10	2,50	0,35	YAGIL et ETZION, 1980
Libye	87,00	13,00	4,20 à 5,6	3,30 à 3,6	3,30 à 3,6	0,82	GNAN et SHERIHA, 1986
Pakistan	86,30	13,30	5,80	2,90	3,70	0,70	YASIN et WAHID, 1957
	87,20	12,80	4,10	4,20	3,70	0,80	KON, 1972
Somalie	86,90	13,00		4,60	3,30	0,60	MOHAMED <i>et al.</i> , 1989
Soudan				4,00	3,60	0,80	ELAMIN, 1980
Tunisie	88,60	11,40	4,69	3,55	2,29	0,90	ELLOUZE et KAMOUN, 1988
URSS	86,60	13,67	5,00	4,47	3,50	0,70	KHERASKOV, 1953
<u>Moyennes:</u>							

lait dromadaire	87,37	12,63	4,62	3,70	3,45	0,74	JARDALI et RAMET, 1991 WEBB <i>et al.</i> , 1983
lait vache	87,20	12,80	4,80	3,70	3,50	0,80	

* lait provenant de dromadaires sous régime pauvre en eau

Tableau 3

**Composition moyenne (%) de la caséine du lait de dromadaire
(origines: Tunisie, France, Somalie, Arabie saoudite, Niger)**

Fraction caséine	α	β	κ	γ
Lait dromadaire	63	28	5	2
Lait vache	46	34	13	4

d'après JARDALI et RAMET, 1991

Tableau 4

**Diamètre moyen (μm) des micelles de caséine
dans le lait de dromadaire de différentes origines**

Type de lait	Dromadaire					Vache
Origine	Tunisie	France	Somalie	Arabie saoudite	Niger	France
Date prélèvement						

mois	juin	mars	octobre	mars	juin	jan-86
année	1987	1989	1989	1990	1990	à mars-87
diamètre moyen micelles (μm)	325	306	325	280	280	160

d'après JARDALI et RAMET, 1991

Tableau 5
Composition en aminoacides
de la caséine entière du lait de dromadaire

Constituant %	Lait Dromadaire	Lait vache
Acide aspartique	7,28	6,52
Thréonine	4,87	4,42
Sérine	5,39	5,75
Acide glutamique	21,26	20,35
Proline	11,62	10,33
Glycine	0,90	2,27
Alanine	1,98	2,80
Valine	5,43	6,48
Cystéine	0,02	0,65

Méthionine	2,70	2,51
Isoleucine	6,23	5,54
Leucine	10,89	8,41
Tyrosine	3,84	5,59
Phénylalanine	4,01	4,73
Lysine	6,53	7,33
Histidine	2,44	2,70
Arginine	4,63	3,62

d'après FARAH et RÜEGG, 1989

Tableau 6
Composition en acides gras (g/100 g)
de la matière grasse du lait de dromadaire

Références bibliographiques	Lait DROMADAIRE							Lait VACHE
	YAGIL 1982	SAWAYA <i>et al.</i> 1984	GNAN et SHERIHA 1986	JARDALI 1988	FARAH <i>et al</i> 1989	ABULEHIA 1987	MOHAMED 1990	ALAIIS 1984
<u>Acides gras</u>								
acide butyrique C4	2,10	≤0,10	0,70	0,97	0,63	-	0,08	3-4
acide caproïque C6	0,90	0,20	-	0,10	0,36	-	0,10	2-5
acide caprylique								

C8	0,60	0,20	0,20	0,15	0,29	0,10	0,10	1–1,5
acide caprique C10	1,40	0,20	0,30	0,18	0,87	0,12	0,15	2,00
acide laurique C12	0,60	0,90	0,10	0,68	0,81	0,77	0,94	3,00
acide myristique C14	7,30	11,40	10,40	14,38	12,75	10,14	11,50	11,00
acide peutadécanoïque C15	-	1,70	0,90	1,30	1,23	1,62	-	1,50
acide palmitique C16	29,30	26,70	29,00	35,47	31,75	26,10	31,20	25–36
acide palmitoléique C16 : 1	-	11,00	9,90	8,83	10,30	10,40	8,20	2,00
acide stéarique C18 : 1	11,10	11,10	12,00	11,66	12,75	12,20	17,30	12,00
acide oléique C18 : 1	38,90	25,50	27,00	20,22	19,54	26,25	27,04	23,00
acide linoléique C18 : 2	3,90	3,60	2,60	1,75	3,42	2,94	1,91	2–3
acide linoléique C18 : 3	-	3,50	-	-	1,41	1,37	1,52	-
acide arachidique C20	-	0,60	-	-	0,96	-	-	-

d'après JARDALI et RAMET, 1991

Tableau 7
Composition minérale du lait de dromadaire (mg/100 g)

Ca	P	Na	K	Mg	Références bibliographiques
127	96	-	-	18	KHAN et APPANA 1967
115* <u>-</u> 132	45* <u>-</u> 48	12* <u>-</u> 19	34* <u>-</u> 45	7,7* <u>-</u> 10	YAGIL et ETZION 1982
106	63	69	156	12	SAWAYA <i>et al.</i> 1984
131-132	51-58	27-35	46-60	14-16	GNAN et SHERIHA 1986
107-123	80-88	38-62	156-210	11-15	ABU-LEHIA 1987
116	71	36	62	8	HASSAN <i>et al.</i> 1987
76	49	39	161	4	MOHAMED 1990
114	87	33	166	-	ELLOUZE et KAMOUN 1988
<u>Moyennes:</u>					
lait dromadaire					

116	67	33	99	11	JARDALI et RAMET 1991 SCHER 1988
lait vache					
125	96	58	140	12	

* lait provenant d'animaux sous régime appauvri en eau.

Tableau 8
Composition vitaminique du lait de dromadaire ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)

Vitamines	SAWAYA <i>et al.</i>	ALAIS
	lait dromadaire	lait vache
Acide pantothénique	88,00	350,00
Vitamine A (U.I.)	50,00	150,00
Vitamine C	2 370,00	2 000,00
Thiamine	33,00	45,00
Riboflavine	41,00	150,00
Vitamine B6	52,00	35,00
Vitamine B12	0,15	0,30
Niacine	461,00	93,00
Folacine	0,41	5,90
U.I. = Unité internationale (0,3 μg)		

Tableau 9
Relations entre les caractéristiques de la coagulation,

de l'égouttage et du fromage d'après J.P. RAMET (1981)

Mode de coagulation	Voie enzymatique	Voie fermentaire
<u>Mécanisme d'action</u>	<ul style="list-style-type: none"> * Hydrolyse spécifique de la caséine K * Perte des propriétés stabilisantes de la fraction K sur la micelle entière * Déstabilisation en présence de Ca^{+2} * pH réaction: 6,6 	<ul style="list-style-type: none"> * Enrichissement du milieu en H^{+} * neutralisation des charges électronégatives de la micelle * déminéralisation correlative de la micelle * pH réaction de 6,5 à 4,6
<u>Coagulum</u> Composition:	<ul style="list-style-type: none"> * phosphoparacaséinate de Ca * état micellaire persiste 	<ul style="list-style-type: none"> * caséine déminéralisée * état micellaire altéré ou disparu (selon pH)
Propriétés:	<ul style="list-style-type: none"> * minéralisé * élastique * non friable * imperméable * aptitude à synérèse importante * nécessité d'action mécaniques thermiques, chimiques (acidification limitée) indispensables pour rompre imperméabilité et exploiter le pouvoir de concentration du gel 	<ul style="list-style-type: none"> * peu minéralisé * ferme * friable * perméable-poreux * potentialité de synérèse réduite * application possible de traitements mécaniques et thermiques de faible intensité (exception centrifugation des

		fromages frais)
Sérum	* Non acide - déminéralisé	* Acide minéralisé
Fromage	* pâte cohérente * durée affinage longue * gros format * non déformable * AW basse * pH élevé * bonne aptitude à laconservation	* pâte peu cohérente * durée affinage courte ou nulle * petit format * déformable * AW élevée * pH bas * aptitude réduite à la conservation

Tableau 10

Rapport des temps de floculation observés dans le lait de dromadaire (T.F.D.) à ceux mesurés dans le lait de vache (T.F.V.)

Type d'enzyme coagulante	T.F.D./T.F.V.
Présure de veau	2,2
Protéase coagulante de <i>Mucor miehei</i>	2,3
Chymosine	6,2
Protéase coagulante de <i>Endothia parasitica</i>	17,7
Pepsine bovine	0,2

d'après RAMET 1990

Tableau 11**Influence du chauffage du lait de dromadaire sur l'aptitude à la coagulation et à l'égouttage**

<u>Température</u>					
<u>chauffage lait (°C)</u>	34	62	65	75	85
<u>Coagulation</u>					
Temps floculation (mn)	4	4	5	6	6
Fermeté gel	+++++	++++	++++	++	+
Friabilité gel	friable				très friable
<u>Egouttage après 5 h</u>					
pH	6,00	6,65	6,65	6,65	6,65
gonflement gel	+	-	-	-	-
matière sèche sérum (%)	5,40	5,65	5,75	5,89	5,97
matière grasse sérum (%)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

d'après RAMET, 1987**Tableau 12****Bilans matières de fromages à pâte molle obtenus à partir de lait de dromadaire, de lait de brebis et de leur mélange**

% Lait de brebis	Lait	Fromage			Lactosérum			Rendement
	Matière	Poids	Matière	Poids	Poids	Matière	Poids	Poids

	sèche totale %	frais %	sèche %	sec %	frais %	sèche %	sec %	sec %
100	18,9	22,4	58,0	12,99	77,0	7,6	5,85	68,7
50	14,1	21,8	37,6	8,19	77,2	7,8	6,02	58,1
30	13,3	23,3	32,1	7,47	75,2	7,9	5,01	55,1
0	11,4	11,3	34,2	3,87	89,6	8,4	7,52	33,3
	11,7	12,1	32,7	3,96	87,5	8,8	7,70	33,8

d'après RAMET, 1990

Tableau 13

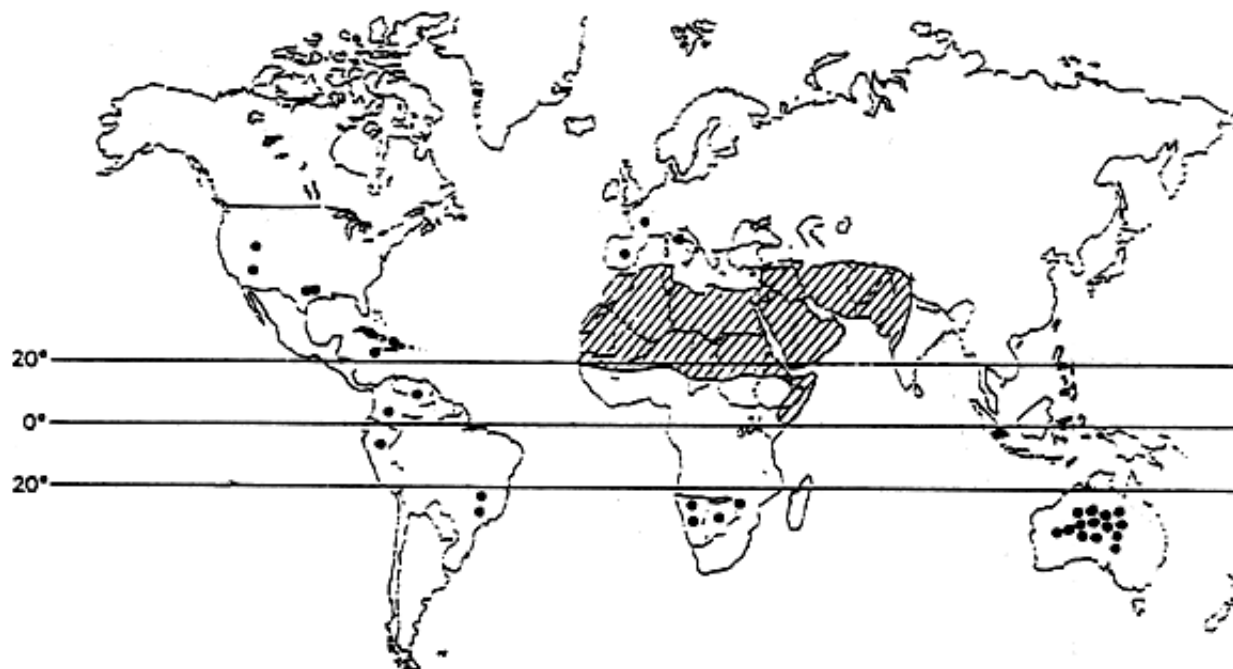
Caractéristiques de fabrication de fromages à pâte pressée non cuite obtenue à partir de lait de dromadaire

Origine lait	Dromadaire		Vache
	Extensif*	Intensif**	Intensif*
<u>Lait</u>			
Matière sèche (%)	9,46	10,10	12,21
Matière grasse (%)	2,04	2,75	3,20
<u>Coagulation</u>			
pH	6,21	6,61	6,50
Temps floculation (mn)	12,45	7,96	11,50
<u>Fromage</u>			

Matière sèche (%)	31,70	45,79	49,96
Rendement frais (%)	6,88	10,74	12,13
Rendement sec (%)	3,00	4,60	6,06
Récupération (%)	31,70	45,79	49,96
Matière sèche			
<u>Lactosérum</u>			
Matière sèche (%)	69,95	65,52	64,53
Matière grasse (%)	13,21	6,29	5,06

* d'après RAMET, 1987

** RAMET et KAMOUN, 1988



- Zones d'introduction

FIGURE 1
Aire de répartition géographique du dromadaire
(Camelus dromedarius)
d'après WILSON, 1984.

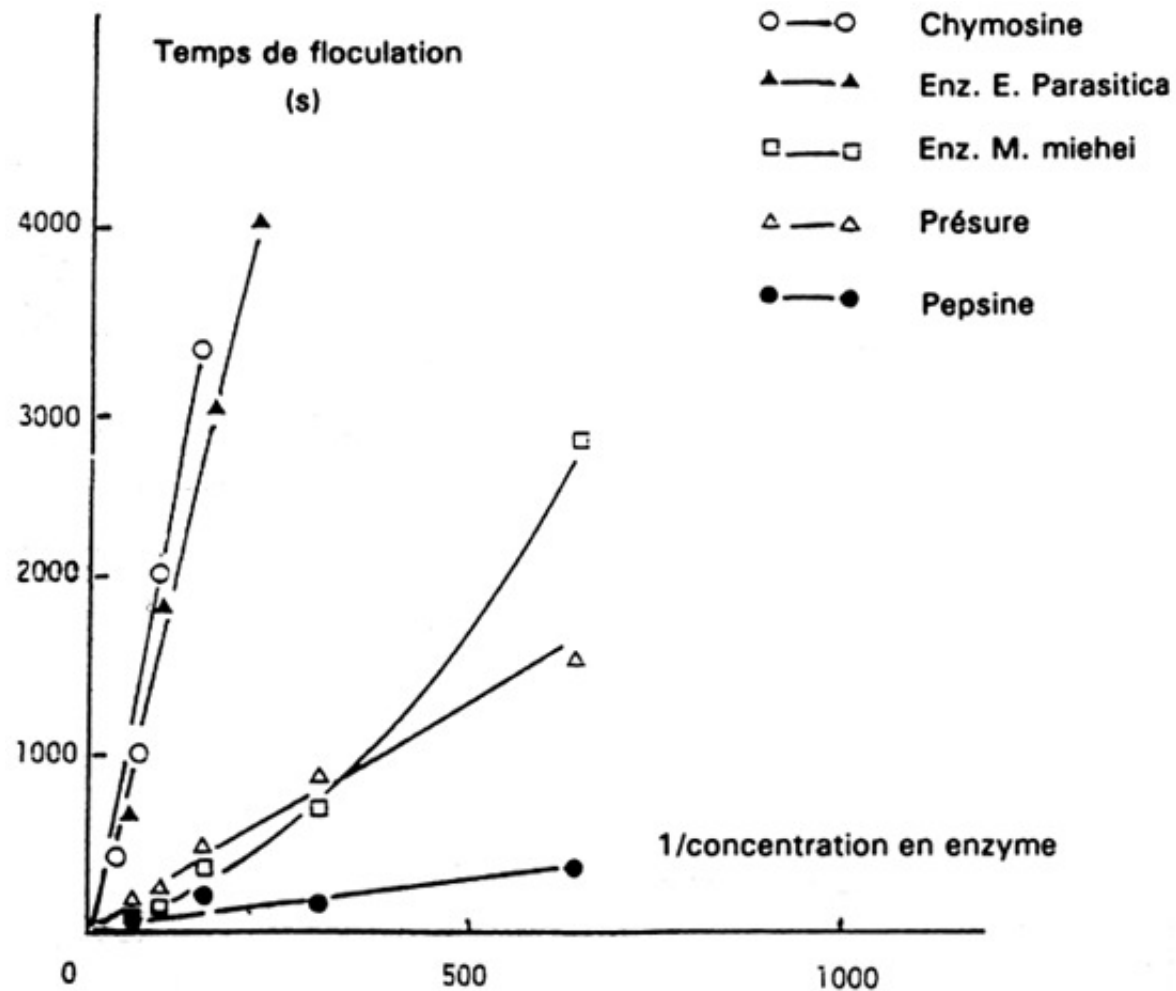
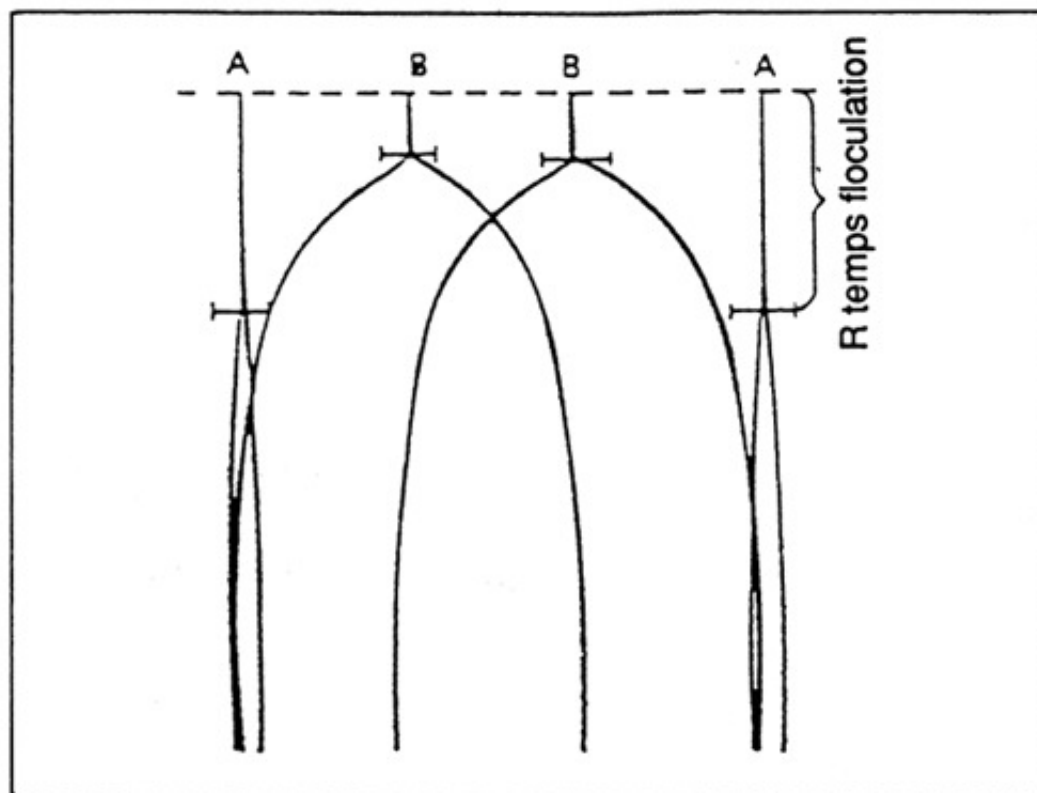


FIGURE 2

**Relation entre le temps de floculation et l'inverse de la concentration en enzyme coagulante
pour différentes protéases coagulantes
d'après RAMET, 1990**



- A. Lait de dromadaire
- B. Lait de vache

FIGURE 3

**Rhéogramme obtenu lors de la coagulation du lait par la présure
d'après FARAH et BACHMANN, 1987**

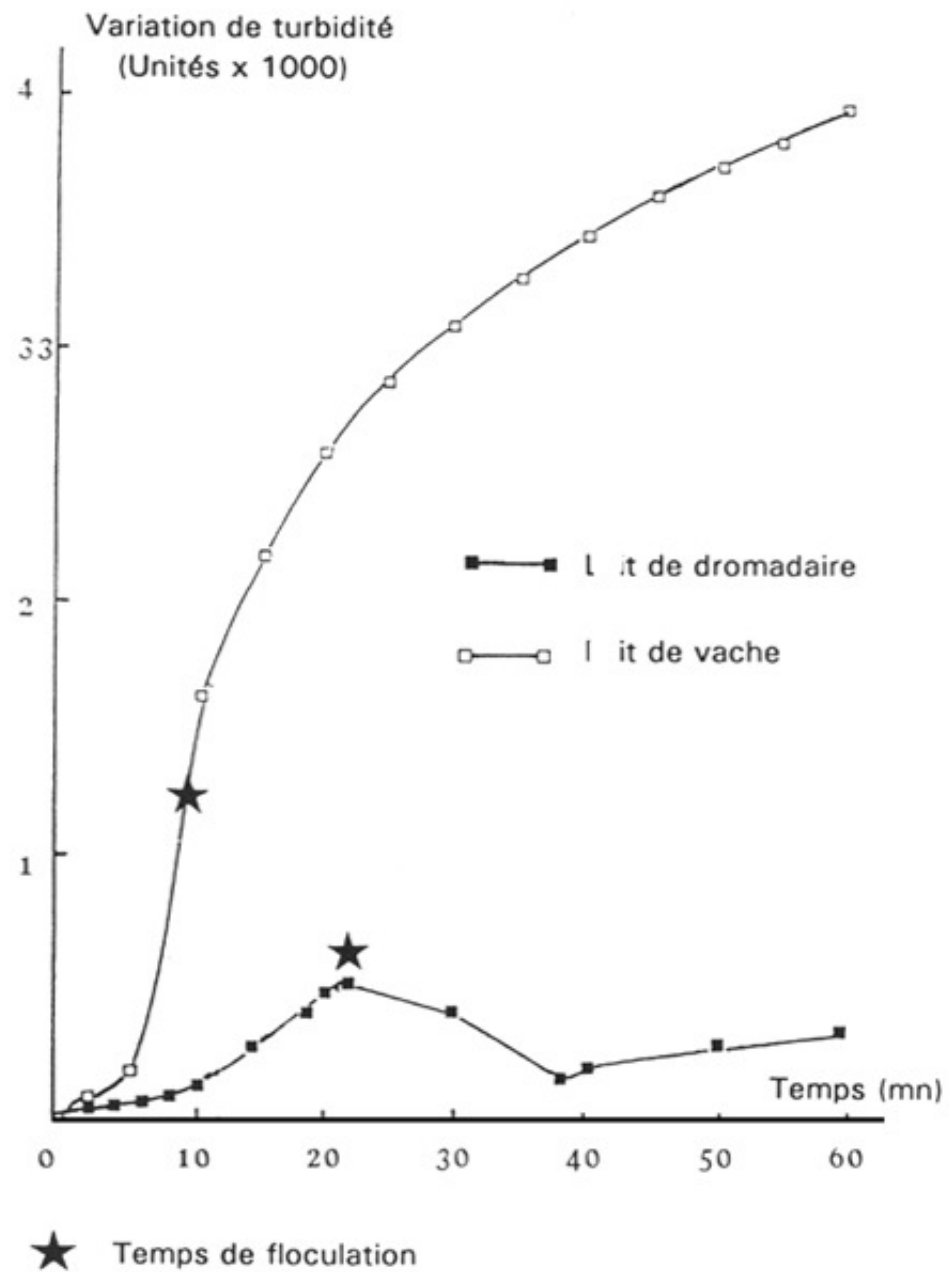


FIGURE 4

Evolution de la turbidité du lait de dromadaire après addition de présure d'après RAMET, 1990

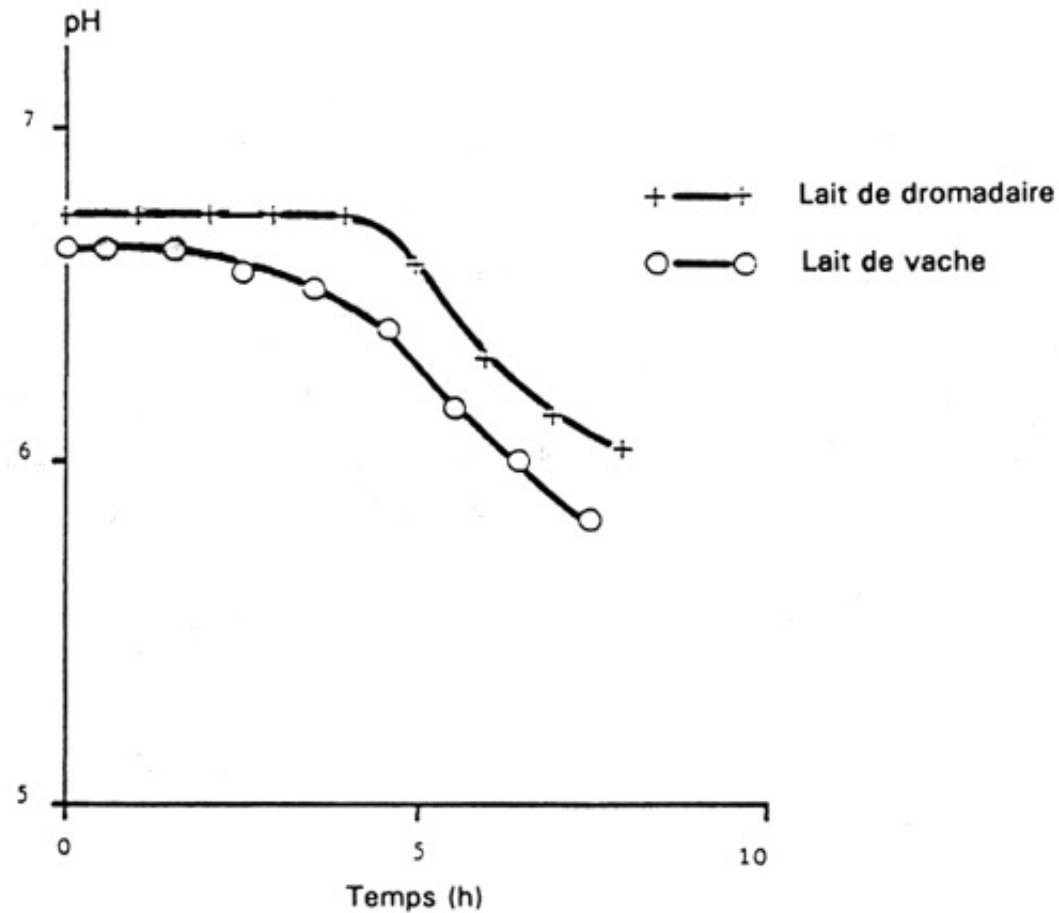


FIGURE 5

**Evolution de l'acidification naturelle du lait de dromadaire et du lait de vache
d'après RAMET, 1987**

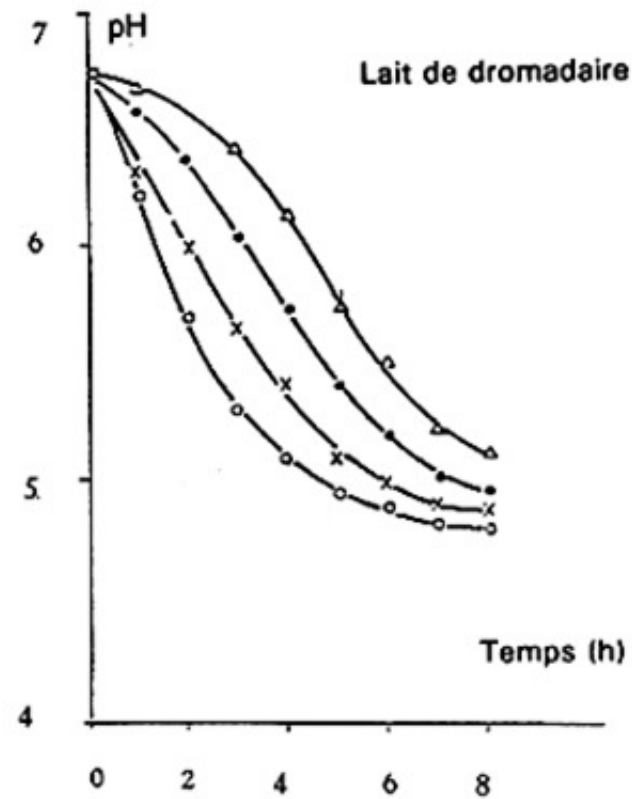
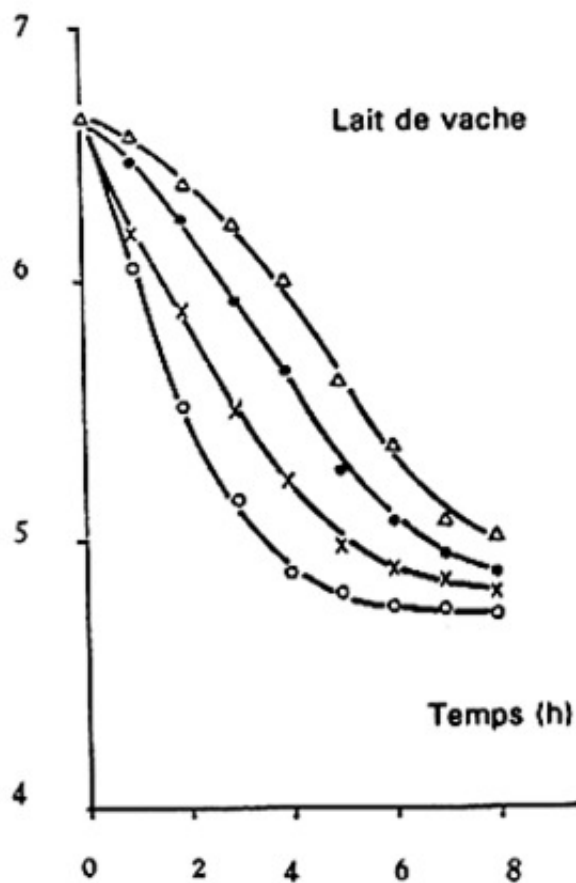


FIGURE 6

Evolution de l'acidification du lait de dromadaire et du lait de vache sous l'influence de ferments lactiques mésophiles

Δ -- Δ 1% ; .-. 2% ; x--x 4% ; 0--0 6%

d'après RAMET, 1987

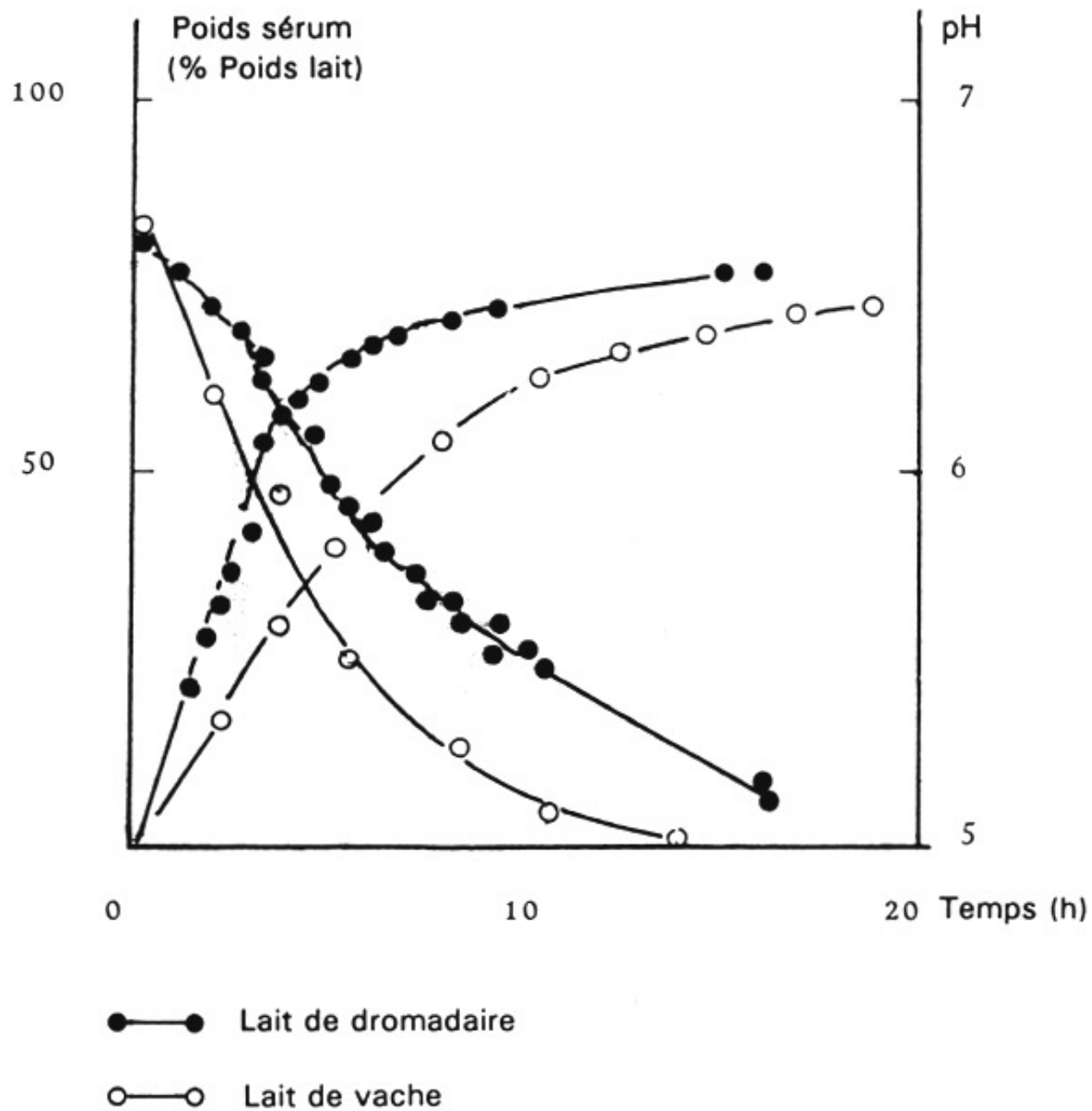


FIGURE 7

Cinétique comparée de l'égouttage et de l'acidification d'un coagulum acide obtenu avec du lait de dromadaire et du lait de vache d'après RAMET, 1987

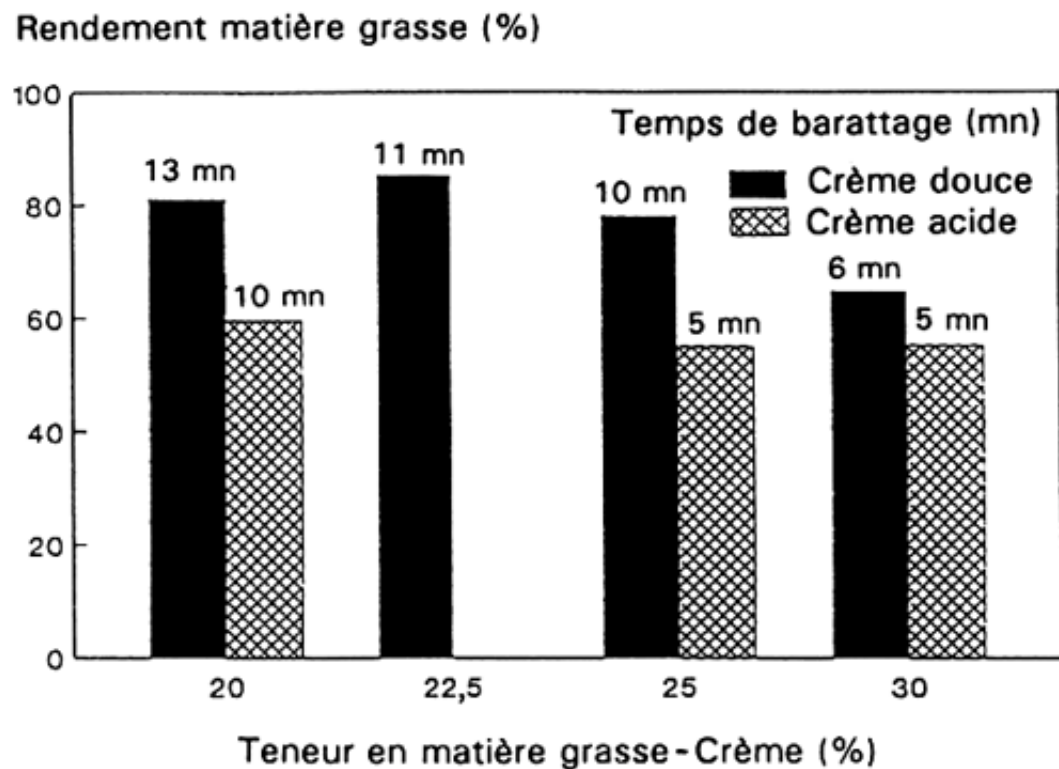
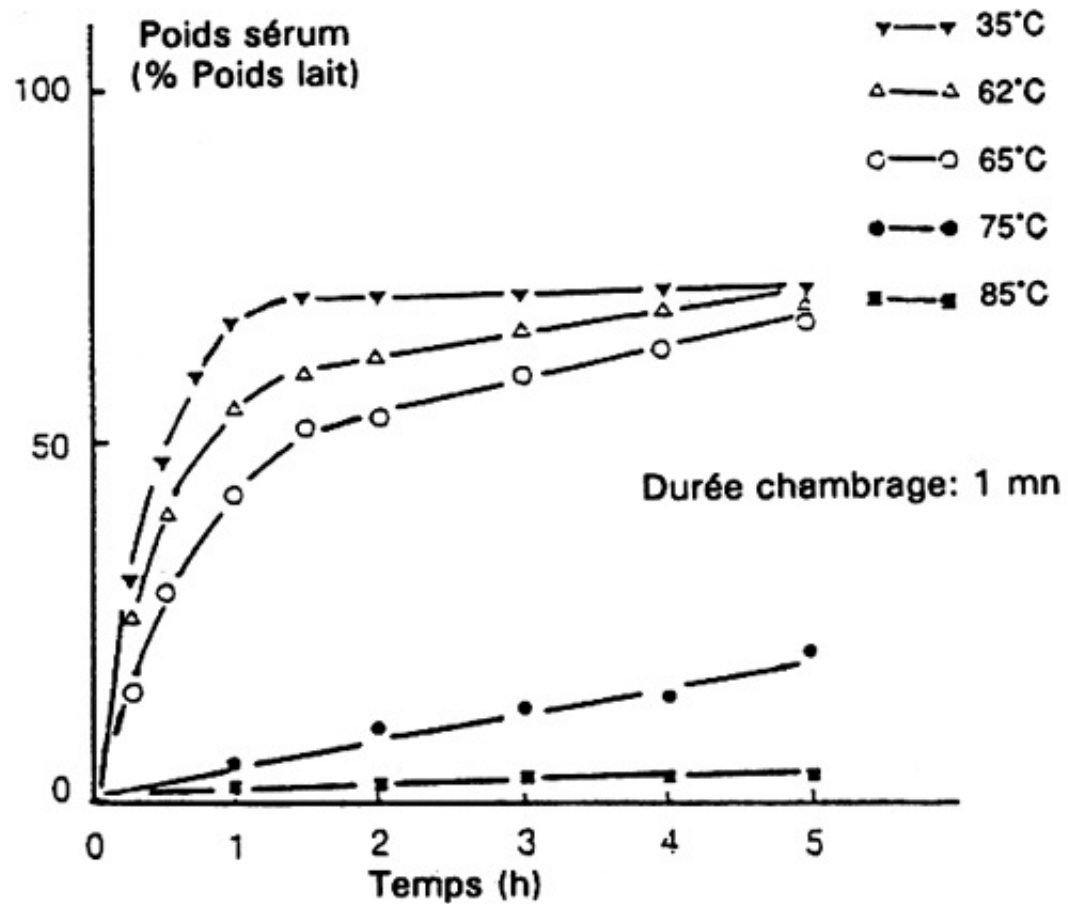


FIGURE 8

**Influence du taux de matière grasse de la crème sur le rendement en matière grasse lors du barattage
d'après FARAH *et al.*, 1989**

**FIGURE 9**

Influence du chauffage du lait de dromadaire sur la cinétique d'égouttage du lactosérum d'après RAMET, 1987

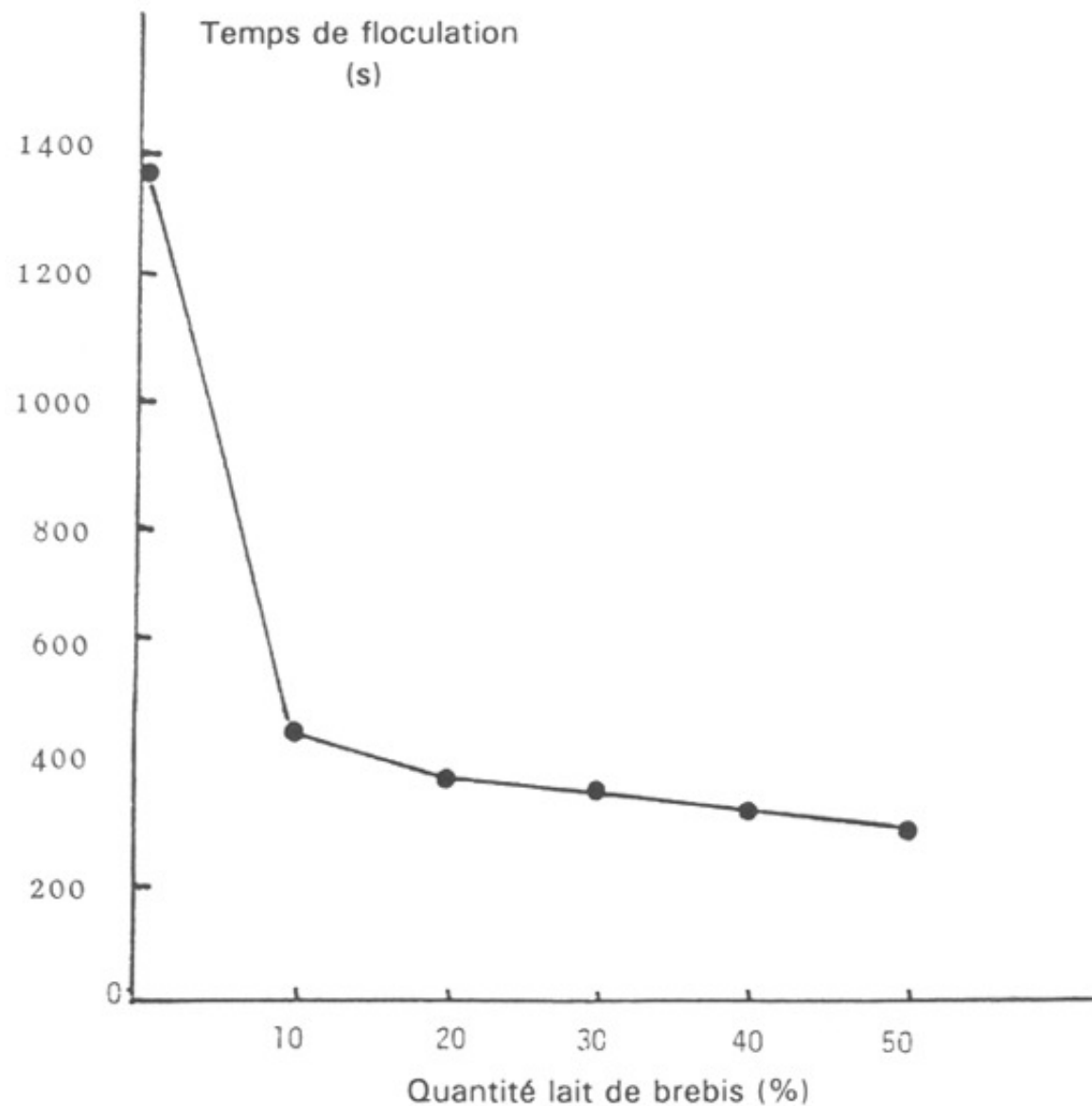
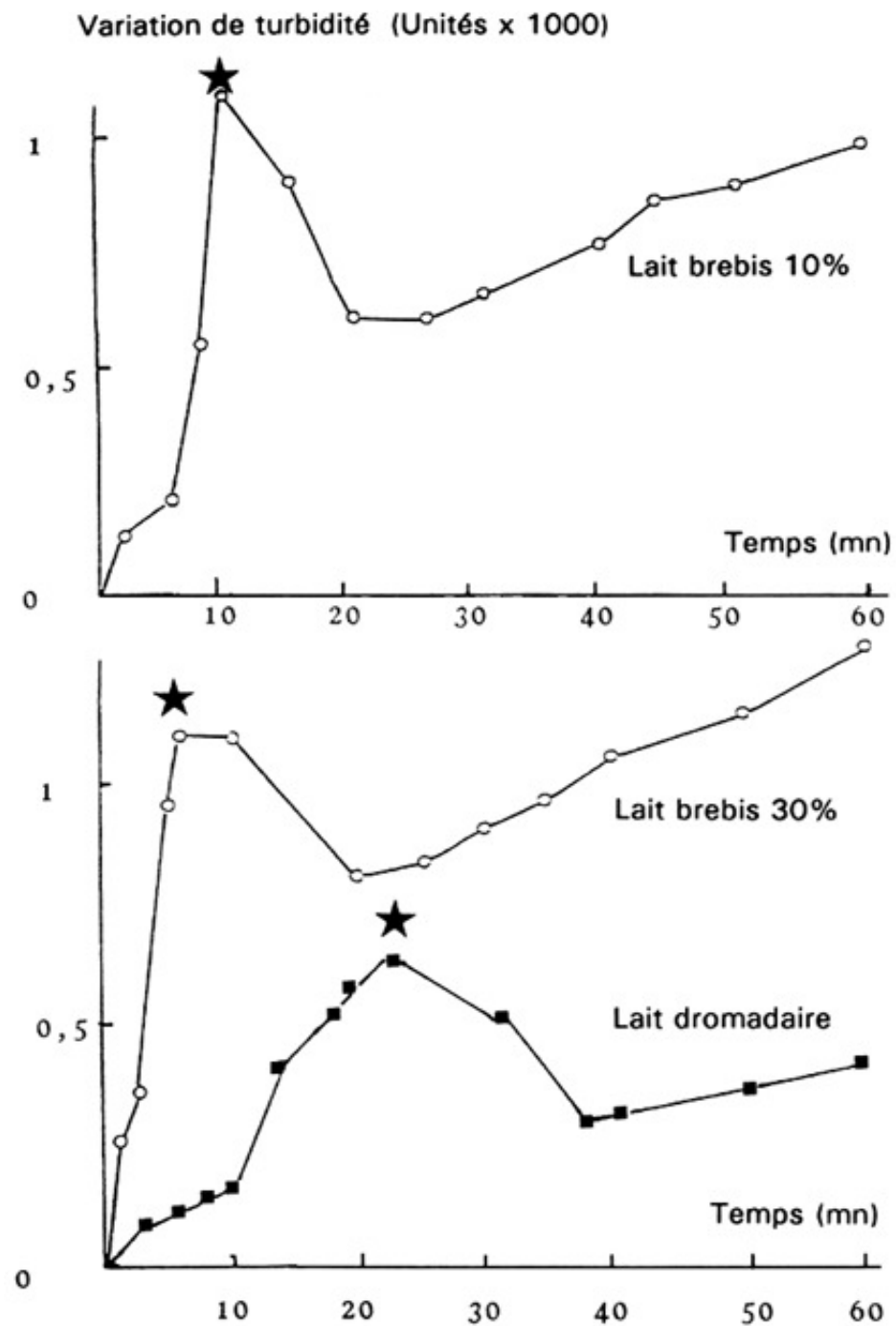
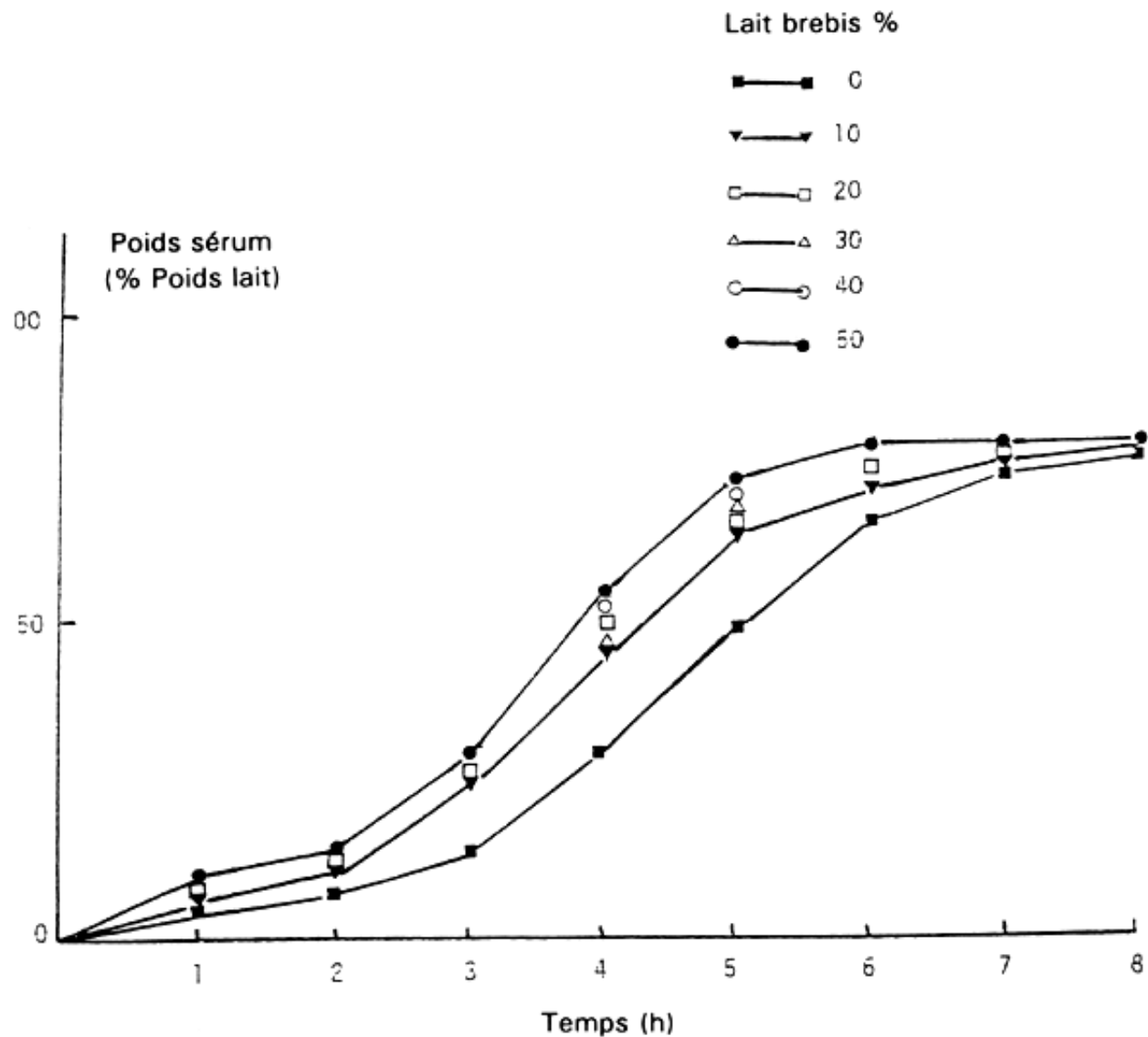


FIGURE 10
Influence du mélange de lait de brebis au lait de dromadaire sur le temps de floculation
d'après RAMET, 1990

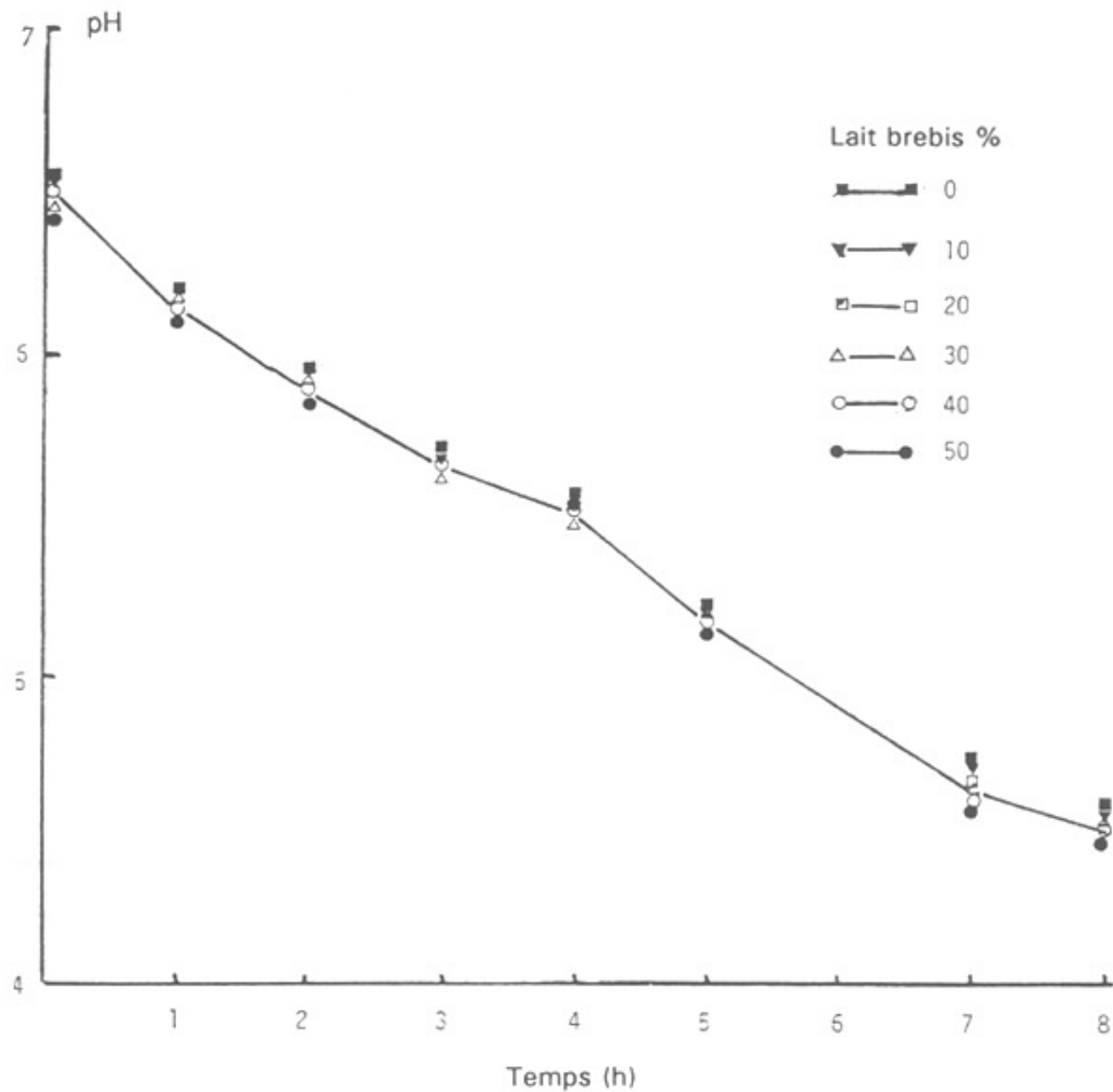


★ Temps de floculation

FIGURE 11
Influence du mélange de lait de brebis au lait de dromadaire sur la fermeté du coagulum
d'après RAMET, 1990

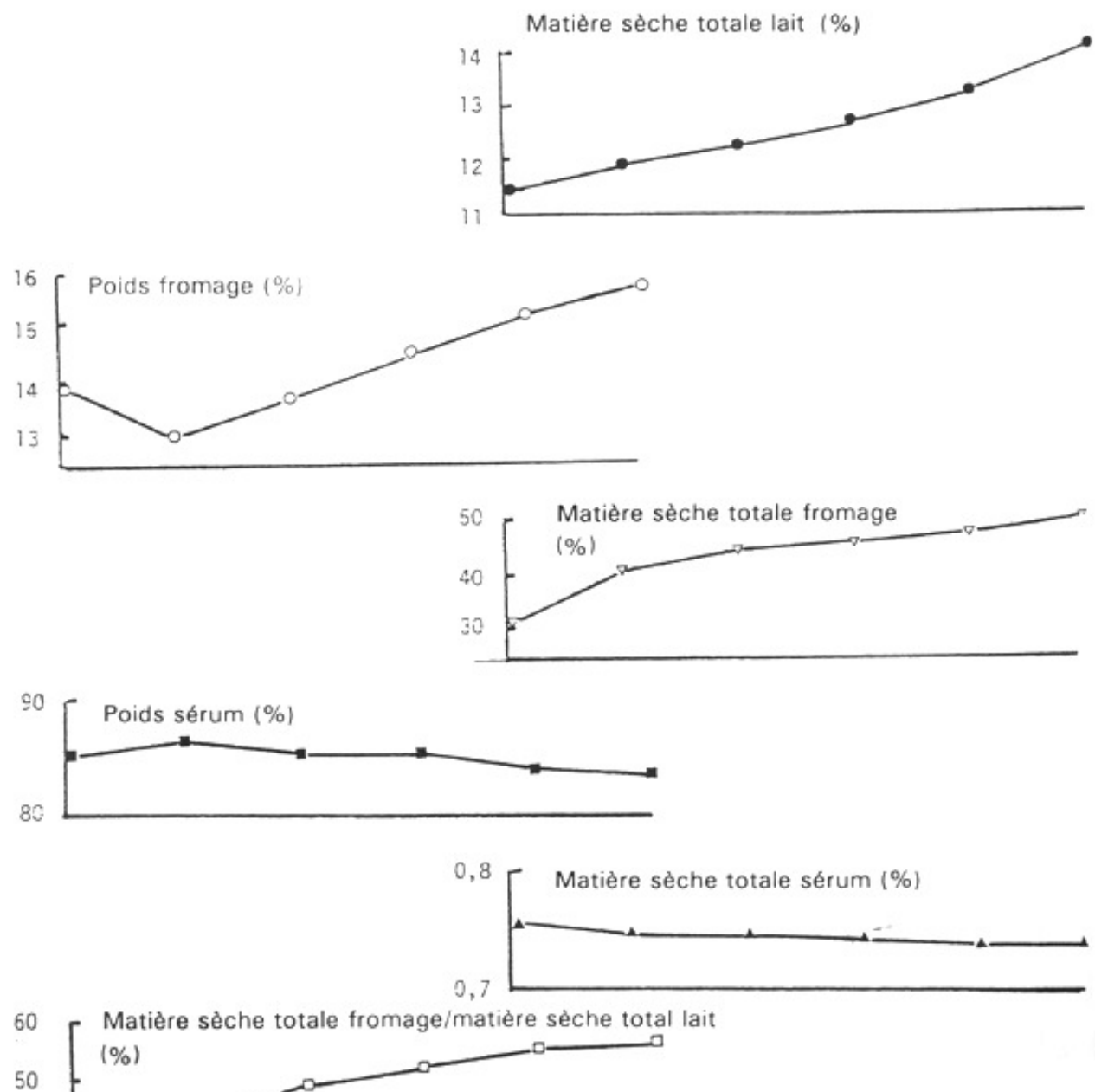
**FIGURE 12**

Influence du mélange de lait de brebis au lait de dromadaire sur la cinétique d'égouttage d'après RAMET, 1990

**FIGURE 13**

Influence du mélange de lait de brebis au lait de dromadaire sur la cinétique d'acidification du

coagulum d'après RAMET, 1990



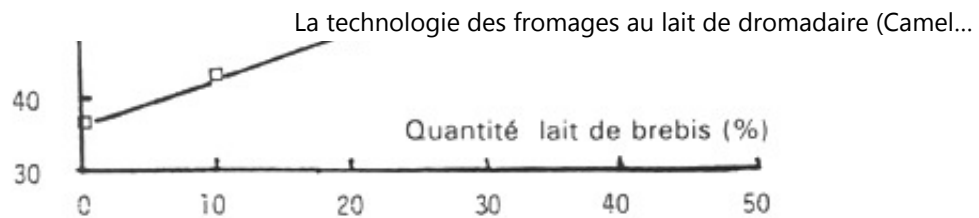
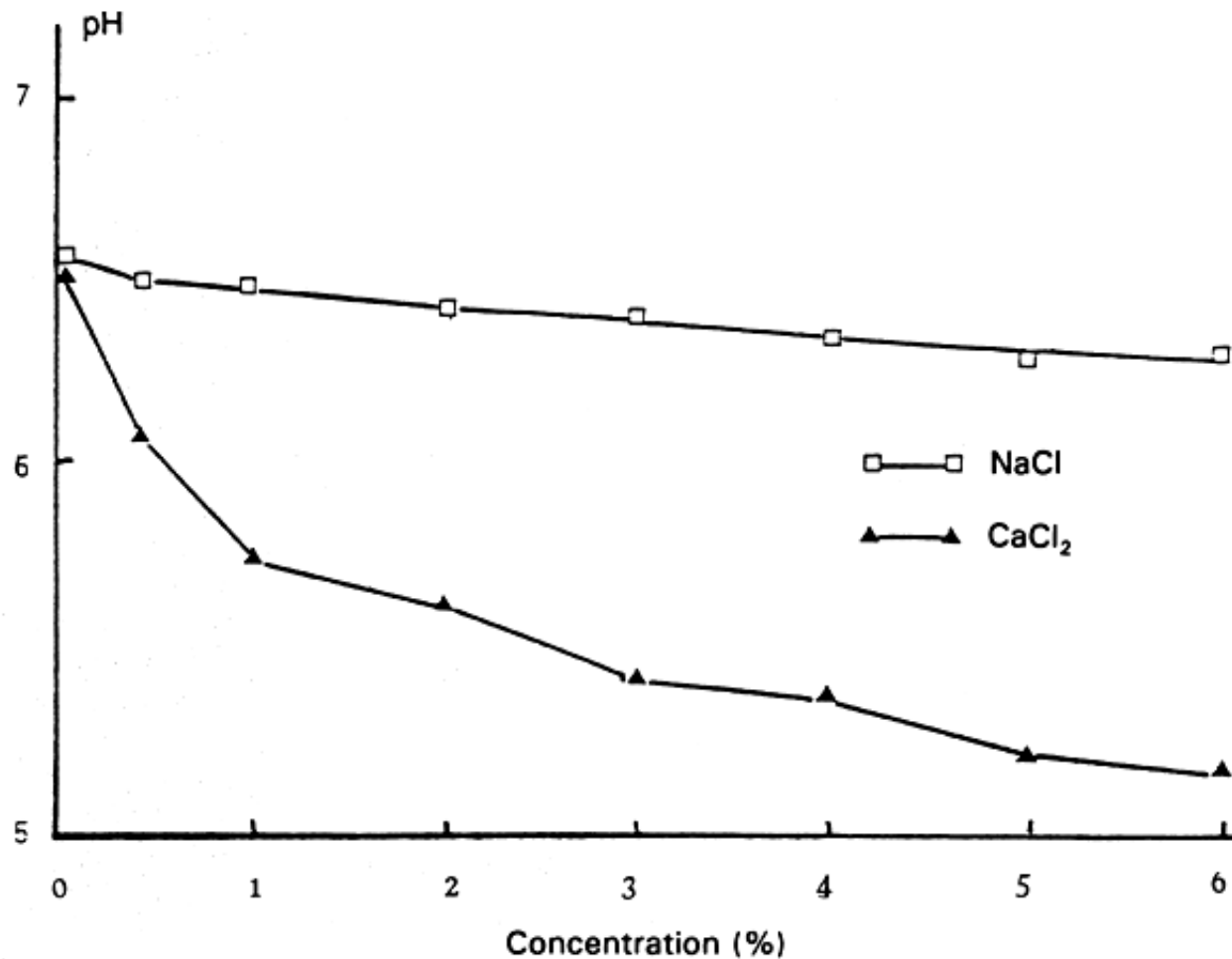
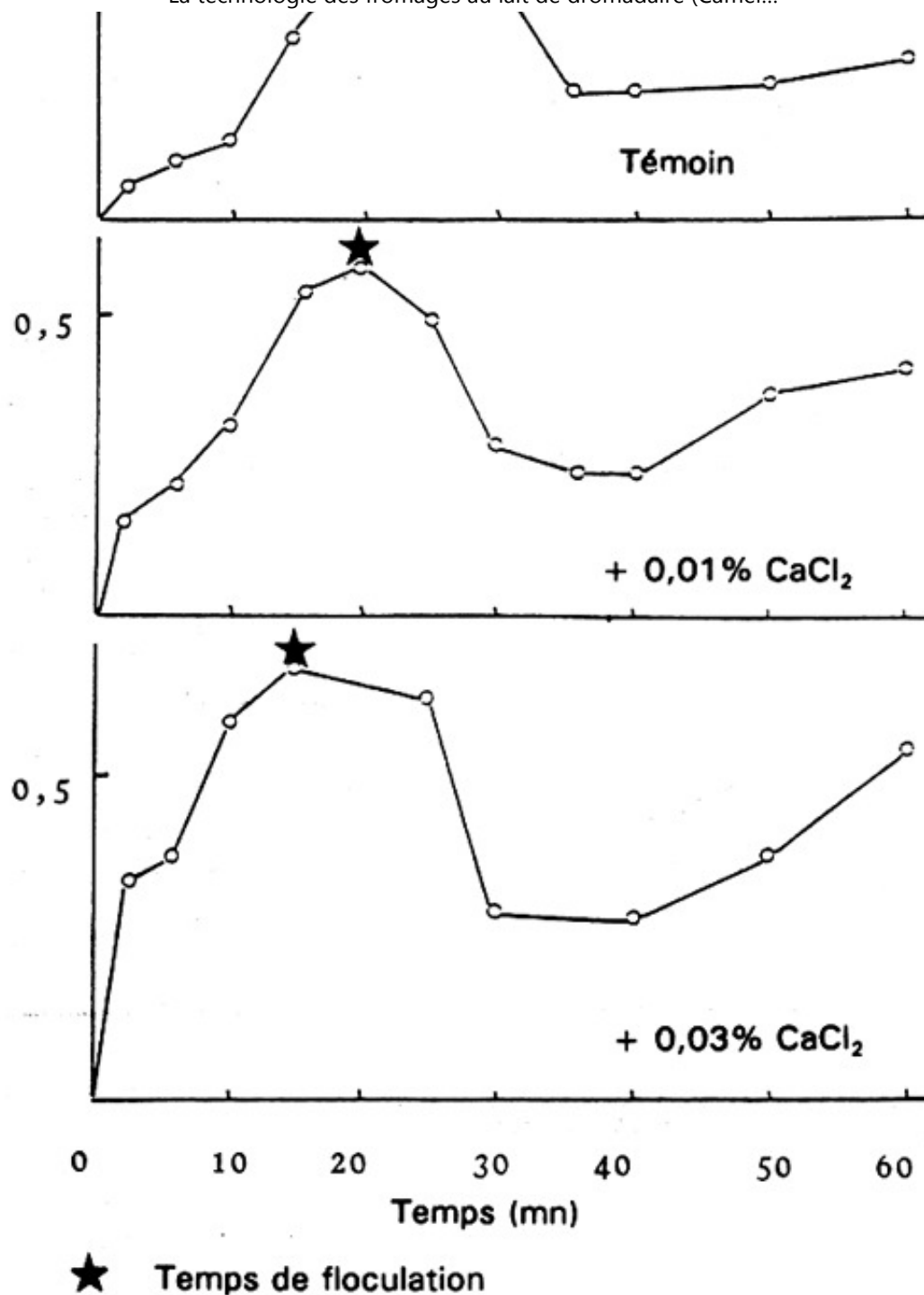


FIGURE 14
Influence du mélange de lait de brebis au lait de dromadaire sur le bilan en matière sèche
d'après RAMET, 1990

**FIGURE 15**

Influence de l'addition de différents sels sur le pH du lait de dromadaire d'après RAMET, 1985 et 1990





★ Temps de floculation

FIGURE 16
Influence de l'addition du chlorure de calcium sur le temps de floculation et la fermeté du coagulum
d'après RAMET, 1990

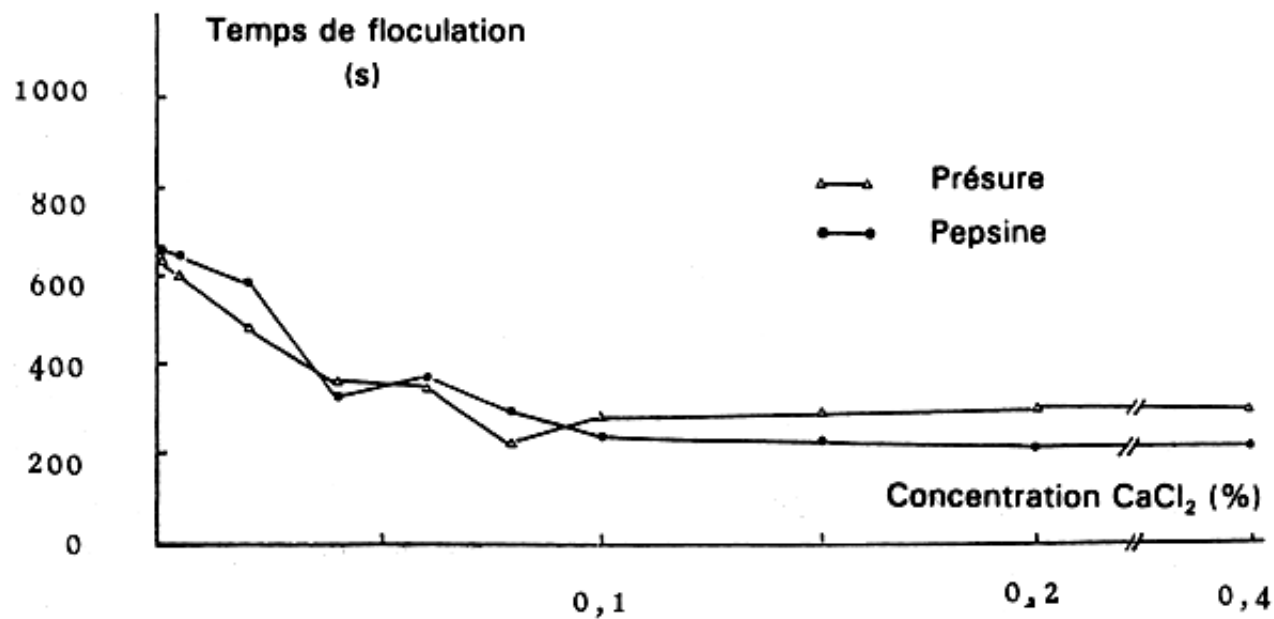
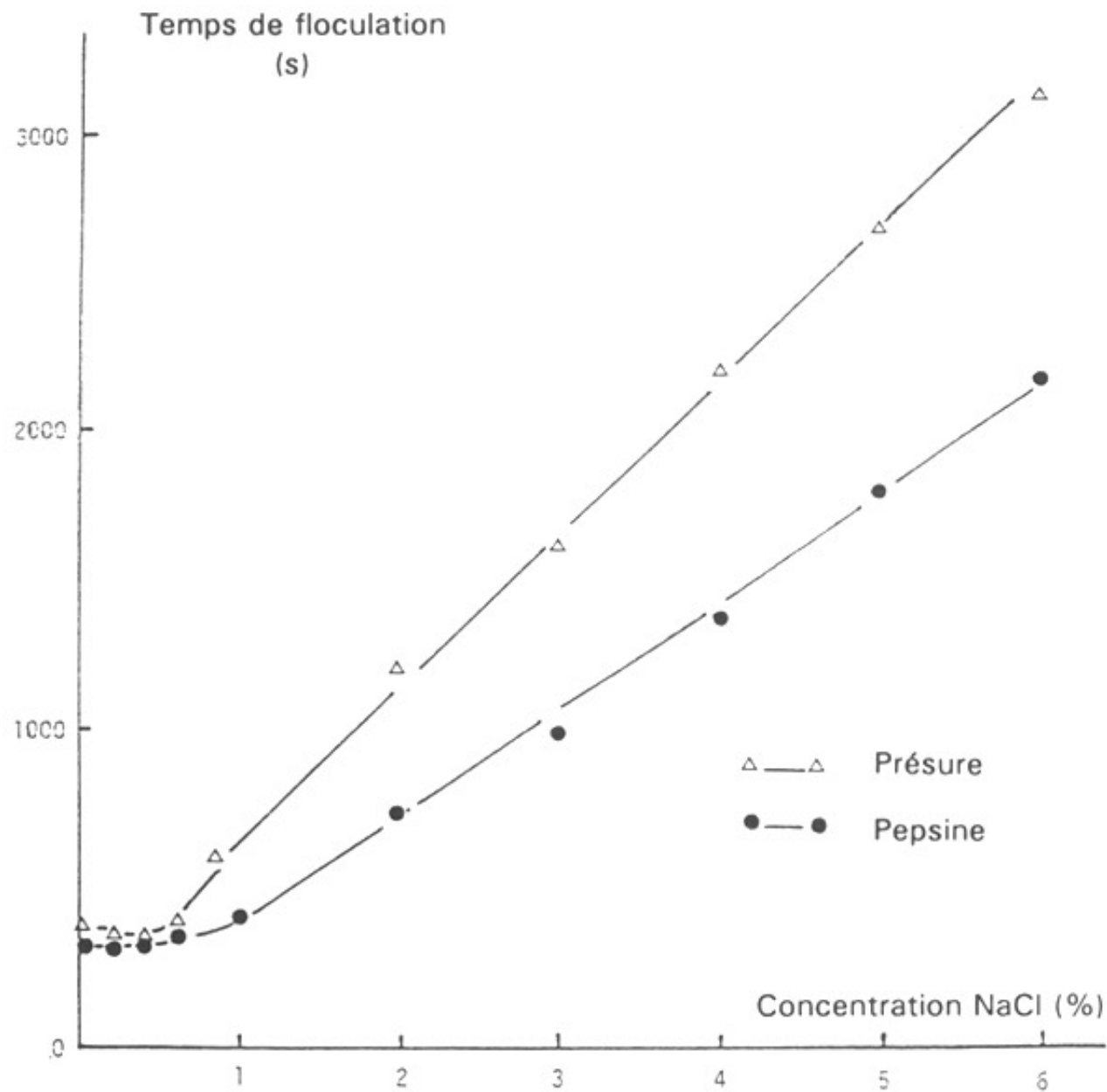


FIGURE 17
Influence de l'addition de chlorure de calcium sur le temps de floculation du lait de dromadaire
d'après RAMET, 1990

**FIGURE 18**

Influence de l'addition de chlorure de sodium sur le temps de floculation du lait de dromadaire

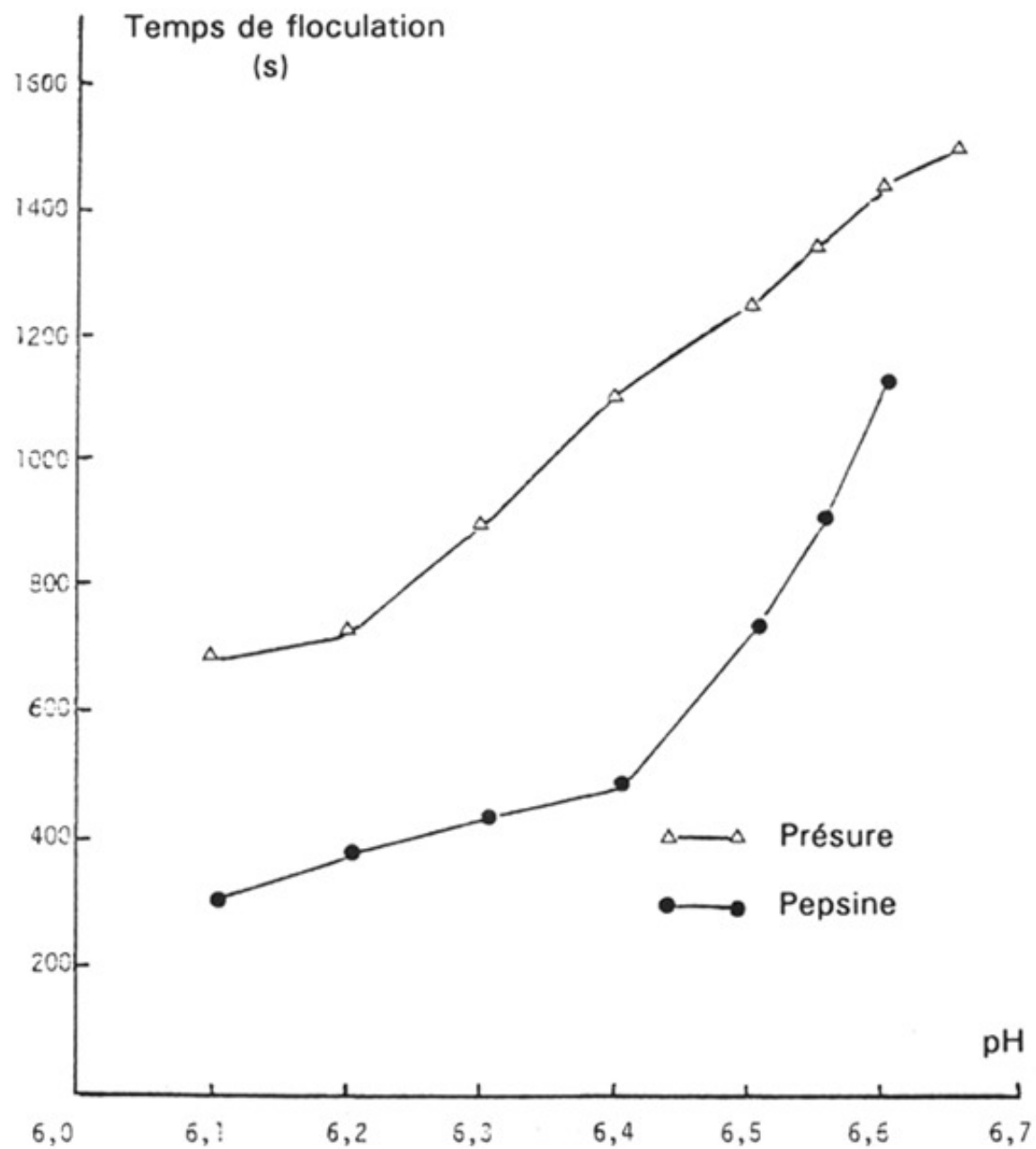
d'après RAMET, 1990

FIGURE 19

**Influence du pH du lait de dromadaire sur l'activité coagulante de la présure de veau et de la pepsine bovine
d'après RAMET, 1990**

Dromadaires en élevage extensif dans la région de Mogadiscio, Somalie, (Ramet, 1989)



Troupeau se déplaçant sur une piste dans le Bush



Marché aux dromadaires



Dromadaires de bât



Nomades somaliens

Dromadaires en élevage extensif dans la région de Ben Gardane, Tunisie, (RAMET, 1987)



Dromadaires broutant dans la steppe



Rassemblement de dromadaires autour d'un puits



Dromadaires immobilisés pour la nuit

Dromadaires en élevage intensif dans la région de Al-Jouf, Arabie saoudite, (RAMET, 1990)

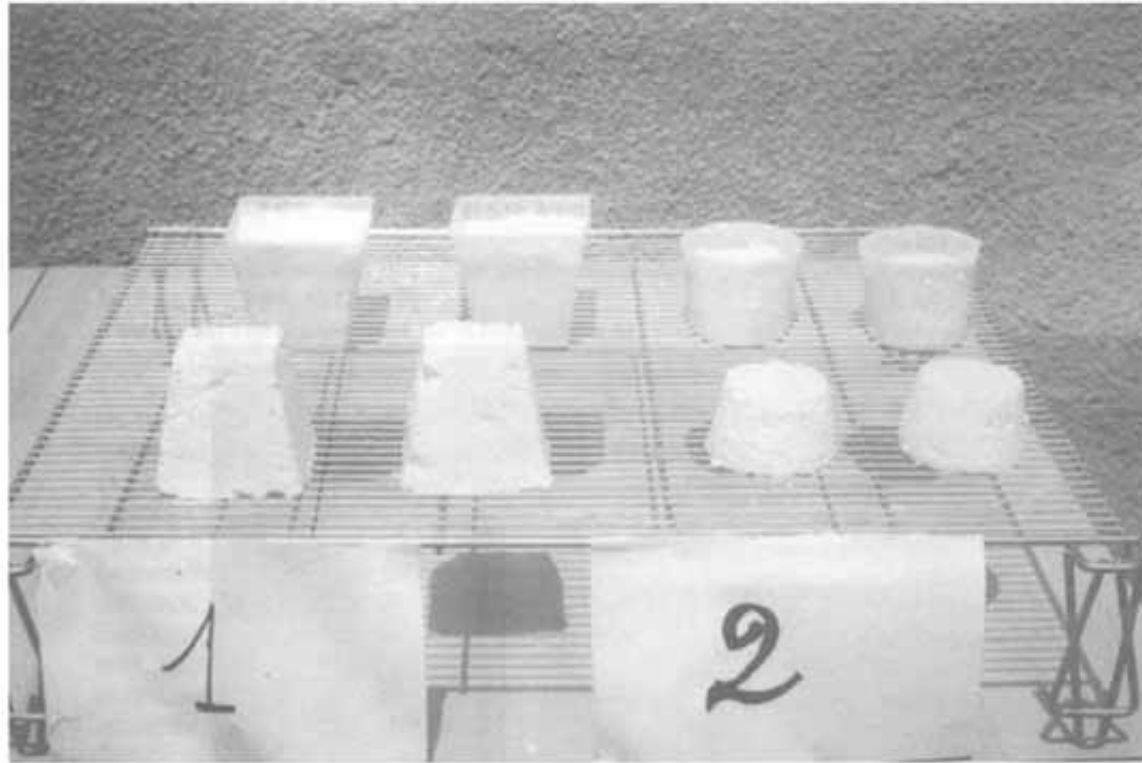


Production laitière en stabulation libre



Mères allaitantes et leurs petits

Divers types de fromages au lait de dromadaire



Fromages frais moulés (RAMET, 1987)



Fromages à pâte pressée non cuite conservés dans l'huile ou dans la saumure (RAMET, 1987)



**Fromages à pâte molle affinés à l'aide de la moisissure blanche *Penicillium camembertii*
(RAMET, 1990)**

CAHIERS TECHNIQUES DE LA FAO

ÉTUDES FAO: PRODUCTION ET SANTE ANIMALES

- 1 Sélection animale: articles choisis de la Revue *mondiale de zootechnie*, 1977 (A C E
E)
- 2 Eradication de la peste porcine classique et de la peste porcine africaine, 1976 (A E
E)

- 3 Insecticides et matériel d'épandage pour la lutte contre la tsé-tsé, 1977 (A E)
- 4 Nouvelles sources d'aliments du bétail, 1977 (A/E/F)
- 5 Bibliography of the criollo cattle of the Americas, 1977 (A/E)
- 6 Utilisation en croisement des races méditerranéennes bovines et ovines, 1977(A E)
- 7 L'action sur l'environnement de la lutte contre la tsé-tsé, 1977 (A E)
- 7
Rev. 1. L'action sur l'environnement de la lutte contre la tsé-tsé, 1981 (A E)
- 8 Races ovines méditerranéennes en régression, 1978 (A E)
- 9 Abattoirs et postes d'abattoirs: dessin et construction, 1978 (A E F)
- 10 Le traitement des pailles pour l'alimentation des animaux, 1979 (A C E F)
- 11 Packaging, storage and distribution of processed milk, 1978 (A)
- 12 Nutrition des ruminants: articles choisis de la *Revue mondiale de zootechnie*, 1978 (A
C E F)
- 13 Buffalo reproduction and artificial insemination, 1979 (A*)
- 14 Les trypanosomiasés africaines, 1979 (A E)
- 15 Establishment of dairy training centres, 1979 (A)
- 16 Logement des jeunes bovins en stabulation libre, 1980 (A Ar E F)
- 17 Les ovins tropicaux prolifiques, 1980 (A E E)
- 18 Feed from animal wastes: state of knowledge, 1980 (A C)
- 19 East Coast fever and related tick-borne diseases, 1980 (A)
- 20/1 Le bétail trypanotolérant en Afrique occidentale et centrale - Vol. 1. Etude générale,
1980 (A E)

- 20/2 Le bétail trypanotolérant en Afrique occidentale et centrale - Vol.2. Etudes par pays, 1980 (A E)
- 20/3 Le bétail trypanotolérant en Afrique occidentale et centrale - Vol. 3. Bilan d'une décennie, 1988 (E)
- 21 Guideline for dairy accounting, 1980 (A)
- 22 Recursos genéticos animales en América Latina, 1981 (E)
- 23 Lutte contre les maladies dans le sperme et les embryons, 1982 (A C E E)
- 24 Animal genetic resources - conservation and management, 1981 (A C)
- 25 Fertilité des bovins, 1985 (A C E E)
- 26 Camels and camel milk, 1982 (A)
- 27 Deer farming, 1982 (A)
- 28 Feed from animal wastes: feeding manual, 1982 (A C)
- 29 Echinococcosis/hydatidosis surveillance, prevention and control: FAO/UNEP/WHO guidelines, 1982 (A)
- 30 Sheep and goat breeds of India, 1982 (A)
- 31 Hormones in animal production, 1982 (A)
- 32 Résidus de récolte et sous-produits agro-industriels en alimentation animale, 1982 (A/E)
- 33 La septicémie hémorragique, 1982 (A/E)
- 34 Plans de sélection des ruminants sous les tropiques, 1984 (A E E)
- 35 Les goûts anormaux du lait frais et reconstitué, 1982 (A Ar E E)

- 36 Tiques et maladies transmises par les tiques: articles choisis de la *Revue mondiale de zootechnie*, 1983 (A E E)
- 37 La trypanosomiase animale africaine: articles choisis de la *Revue mondiale de zootechnie*, 1983 (A E)
- 38 Diagnosis and vaccination for the control of brucellosis in the Near East, 1982 (A Ar)
- 39 L'énergie solaire dans la collecte et la transformation du lait à petite échelle, 1985 (A E)
- 40 Intensive sheep production in the Near East, 1983 (A Ar)
- 41 Perspectives d'intégration des productions végétale et animale en Afrique de l'Ouest, 1985 (A E)
- 42 Energie animale en agriculture en Afrique et en Asie, 1984 (A/E E)
- 43 Utilisation des sous-produits de l'olivier en alimentation animale dans le bassin méditerranéen, 1984 (A Ar E E)
- 44/1 Animal genetic resources conservation by management, data banks and training, 1984 (A)
- 44/2 Animal genetic resources: cryogenic storage of germplasm and molecular engineering, 1984 (A)
- 45 Maintenance systems for the dairy plant, 1984 (A)
- 46 Les races d'animaux domestiques en Chine et leur environnement, 1986 (A E E)
- 47 Réfrigération du lait à la ferme et organisation des transports, 1985 (E)
- 48 La fromagerie et les variétés de fromages du bassin méditerranéen, 1985 (E)
- 49 Manual for the slaughter of small ruminants in developing countries, 1985 (A)
- 50 Better utilization of crop residues and by-products in animal feeding: research guidelines - 1. State of knowledge, 1985 (A)

- 50/2 Better utilization of crop residues and by-products in animal feeding: research guidelines - 2. A practical manual for research workers, 1986 (A)
- 51 Dried salted meats: charque and carne-de-sol, 1985 (A)
- 52 Small-scale sausage production, 1985 (A)
- 53 Slaughterhouse cleaning and sanitation, 1985 (A)
- 54 Small ruminants in the Near East - Vol. I. Selected papers presented for the Expert Consultation on Small Ruminant Research and Development in the Near East, (Tunis, 1985), 1987 (A)
- 55 Small ruminants in the Near East - Vol. II. Selected articles from World Animal Review 1972–1986, 1987 (A Ar)
- 56 Sheep and goats in Pakistan, 1985 (A)
- 57 The Awassi sheep with special reference to the improved dairy type, 1985 (A)
- 58 Small ruminant production in the developing countries, 1986 (A)
- 59/1 Animal genetic resources data banks - 1. Computer systems study for regional data banks, 1986 (A)
- 59/2 Banques de données sur les ressources génétiques animaux-2. Descripteurs concernant le bétail bovin, les buffles, les espèces ovine, caprine et porcine, 1987 (A E E)
- 59/3 Banques de données sur les ressources génétiques animales - 3. Descripteurs concernant les espèces avicoles, 1987 (A E E)
- 60 Sheep and goats in Turkey, 1986 (A)
- 61 The Przewalski horse and restoration to its natural habitat in Mongolia, 1986 (A)
- 60 Sheep and goats in Turkey, 1986(A)

- 61 The Przewalski horse and restoration to its natural habitat in Mongolia, 1986(△)
- 62 Les coûts de production et de transformation du lait et des produits laitiers, 1986 (△ E E)
- 63 Proceedings of the FAO expert consultation on the substitution of imported concentrate feeds in animal production systems in developing countries, 1987 (△ C)
- 64 Poultry management and diseases in the Near East, 1987 (△r)
- 65 Animal genetic resources of the USSR, 1989 (△)
- 66 Animal genetic resources - strategies for improved use and conservation, 1987 (△)
- 67/1 Trypanotolerant cattle and livestock development in West and Central Africa - Vol. I, 1987 (△)
- 67/2 Trypanotolerant cattle and livestock development in West and Central Africa - Vol. II, 1987 (△)
- 68 Crossbreeding Bos indicus and Bos taurus for milk production in the tropics, 1987 (△)
- 69 La transformation laitière au niveau villageois, 1988 (△ E E)
- 70 La production de viande ovine et caprine dans les régions tropicales humides de l'Afrique de l'Ouest, 1989 (△/E)
- 71 Le développement de la production ovine dans les villages d'Afrique de l'Ouest, 1989 (△ Ar E E) (Publié comme Manuel de formation à l'intention des vulgarisateurs, M/S5840F.)
- 72 Sugarcane as feed, 1988 (△/E)
- 73 Standard design for small-scale modular slaughterhouses, 1988 (△)
- 74 Small ruminants in the Near East - Vol. III North Africa, 1989 (△)
- 75 The eradication of ticks, 1989 (△/E)

- 76 Ex situ cryoconservation of genomes and genes of endangered cattle breeds by means of modern biotechnological methods, 1989 (A)
- 77 Training manual for embryo transfer in cattle, 1991 (A)
- 78 Milking, milk production hygiene and udder health, 1989 (A)
- 79 Manual of simple methods of meat preservation, 1990 (A)
- 80 Animal genetic resource - a global programme for sustainable development, 1990 (A)
- 81 Diagnostic bactériologique vétérinaire - Méthodes de laboratoire pour le diagnostic de certaines maladies du bétail, 1992 (A E)
- 82 Reproduction in camels - a review, 1990 (A)
- 83 Manuel de formation pour l'insémination artificielle chez les ovins et les caprins, 1993 (A E)
- 84 Training manual for embryo transfer in water buffaloes, 1991 (A)
- 85 The technology of traditional milk products in developing countries, 1990 (A)
- 86 Feeding dairy cows in the tropics, 1991 (A)
- 87 Production des vaccins contre la fièvre charbonneuse et le charbon symptomatique, 1992 (A E)
- 88 Petits ruminants: production et ressources génétiques en Afrique tropicale, 1992 (A E)
- 89 Production de vaccins contre la maladie de Marek, la maladie de Newcastle et la maladie de Gumboro, 1992 (A E)
- 90 Application of biotechnology to nutrition of animals in developing countries, 1991 (A E)
- 91 Guidelines for slaughtering, meat cutting and further processing, 1991 (A)
- 92 Manual on meat cold store operation and management, 1991 (A E)

- 93 Utilization of renewable energy sources and energy-saving technologies by small-scale milk plants and collection centres, 1992 (A)
Proceedings of the FAO expert consultation on the genetic aspects of
- 94 trypanotolerance, 1992 (A)
- 95 Roots, tubers, plantains and bananas in animal feeding, 1992 (A)
- 96 Distribution and impact of helminth diseases of livestock in developing countries, 1992 (A)
- 97 Construction and operation of medium-sized abattoirs in developing countries, 1992 (A)
- 98 Small-scale poultry processing, 1992 (E)
- 99 In situ conservation of livestock and poultry, 1992 (A)
- 100 Programme for the control of African animal trypanosomiasis and related development, 1992 (A)
- 101 Genetic improvement of hair sheep in the tropics, 1992 (A)
- 102 Legume trees and other fodder trees as protein sources for livestock, 1992 (A)
- 103 Improving sheep reproduction in the Near East, 1992 (Ar)
- 104 The management of global animal genetic resources, 1992 (A)
- 105 Sustainable livestock production in the mountain agro-ecosystem of Nepal, 1992 (A)
- 106 Sustainable animal production from small farm systems in South-East Asia, 1993 (A)
- 107 Strategies for sustainable animal agriculture in developing countries, 1993 (A)
- 108 Evaluation of breeds and crosses of domestic animals, 1993 (A)
- 109 Bovine spongiform encephalopathy, 1993 (A)

- 110 L'amélioration génétique des bovins en Afrique de l'Ouest, 1993 (E)
111 La utilización sostenible de hembras F₁ en la producción del ganado lechero tropical,
1993 (E)
112 Physiologie de la reproduction des bovins trypanotolérants, 1993 (E)
113 La technologie des fromages au lait de dromadaire (Camelus dromedarius), 1993 (E)

Disponibilité: août 1993

A - Anglais

Ar - Arabe

C - Chinois

E - Espagnol

F - Français

P - Portugais

Miltil. - Multilingue

*** Epuisé**

**** En préparation**

On peut se procurer les Cahiers techniques de la FAO auprès des points de vente des publications de la FAO, ou en s'adressant directement à la Section distribution et ventes, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie.

